

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Prosessi- ja materiaalitekniikan osasto

Puunjalostustekniikan laitos

Paperitekniikan laboratorio

Niiles Airola

**POHJAHYLKYYN VAIKUTTAVIEN TEKIJÖIDEN MINIMOINTI
SC-SYVÄPAINOPAPERIA VALMISTAVALLA PAPERIKONEELLA**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 23.02.1996.

Työn valvoja: Professori Hannu Paulapuro

Työn ohjaaja: DI Seppo Luomi

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Puunjalostustekniikan laitos
Kirjasto

Tekijä: Niiles Airola**Työn nimi:** Pohjahylkyyn vaikuttavien tekijöiden minimointi**SC-syväpainopaperia valmistavalla paperikoneella****Päivämäärä :** 31.1.1996**Sivumäärä** 107**Osasto, laitos, professuuri :**

Prosessi- ja materiaalitekniikan osasto

Puunjalostustekniikan laitos, Puu-21 Paperitekniikka

Työn valvoja :

Professori Hannu Paulapuro

Työn ohjaaja :

DI Seppo Luomi

Työn tavoitteena oli selvittää, mistä aiheutuu SC-syväpainopaperia valmistavan paperikoneen superkalanterien aukirullauksessa syntyvän pohjahyllyn satunnainen vaihtelu.

Kirjallisuustyössä selvitettiin rullanmuodostumista sekä erilaisia rullausteorioita. Tarkin käytössä oleva malli on epälineaarinen anisotrooppinen Hakielin malli, missä ideaalirulla on rakennettu kerros kerrokselta. Mallin heikkoutena on sen monimutkaisuus. Lisäksi mallissa rullan sisällä valitsevien voimien aiheuttamat rasitukset on jätetty huomioimatta. SC-syväpainopaperilla suoritettujen aikaisempien tutkimusten perusteella oli todettu, että täyteaineella, paperin kitkalla ja kokoonpuristuvuudella sekä poikkiprofiilien muutoksilla oli vaikutusta pohjahyllyn syntyyn. Oli myös osoitettu, että pohjahyllyn syntyminen ei ollut mistään yksittäisestä superkalanterista tai pituusleikkurista johtuva ongelma.

Kirjallisuudessa on myös esitetty, että paperin xy-suuntaisilla venymä- ja lujuusarvoilla, z-suuntaisella kokoonpuristuvuudella sekä paperin pinta- ja rakenneomaisuuksilla on merkittävä vaikutus paperin rullautumiskäyttäytymiseen. Paperin kosteustason kasvaessa paperin kimmokerroin pienenee, jolloin plastisen, palautumattoman venymän osuus kasvaa. Palautumattoman venymän kasvu vaikeuttaa paperin jatkojalostusta, koska paperilla ei ole kykyä joustaa ja absoiboida kireyspiikkejä. Paperin z-suuntaiseen kokoonpuristuvuuteen vaikuttavat paperin pinnan topografia sekä sen rakenteen bulkaisuus.

Tilastollinen tarkastelu tehtiin ko. paperikoneen puolen vuoden ajalta tärkeimpiin prosessimuuttujiin. Selvittämättömän pohjahyllyn osuus oli noin 1.8 % kokonaistuotannosta. Pohjahyllyn ilmentymisen yhteydessä paperirainan poikkisuunnan neliömassan hajonta kasvoi. Konesuunnan venymä ja vetolujuus pienenevät. Pohjahylky ei ollut paperilaji tai neliömassa kohtainen ongelma. Joissakin poikkeuksellisissa tapauksissa raina kesti superkalanteroinnin, mutta ei pituusleikkauksen ensimmäisen muuton alkukiihdytystä.

Seurantakoeajon tulosten perusteella todettiin pohjahylkytilanteessa paperirainan poikkisuunnassa reuna-alueilla paksuuden ja neliömassan pienentyvän. Pohjahyllyttömän tilanteen aikana kiinnirullaimelle tulevan rainan reunat olivat 3-4 µm paksumpia kuin rainan keskusta. Pohjahylkytilanteessa reunan vastaava arvo oli 0-1 µm:ä. Pohjahylkytilanteessa neliömassan ja tiheyden poikkiprofiilien reunan poikkeaman muutos alkoi normaaliin tilanteeseen verrattuna keskemältä rainaa.

Seurantakoeajossa saavutettujen tulosten perusteella oletettiin pohjahyllyn syntyvän poikkiradan reuna-alueiden neliömassan ja paksuuden muutoksista. Kyseinen hypoteesi varmennettiin erillisellä koeajolla, missä tarkoituksella puristettiin paperirainan reunoja kahdella paperikoneen märkäpuristimella. Märkäpuristus ei lisännyt pohjahyllyn määrää reunojen ohentuessa. Reunamuutos on peräisin jostakin muusta paperikoneen osa-alueesta.

Paksuuden ja neliömassan poikkiprofiilien muutoksilla on vaikutus muodostuvan konerullan poikkisuunnassa radiaalipaineisiin ja mahdollisiin sisäisiin liikkeisiin. Saavutettujen tulosten perusteella pohjahyllyn syntymisen syy ko. SC-syväpainopaperikoneella aiheutuu paperirainan poikkisuuntaisten profiilien reuna-alueiden pienistä rullauksen kannalta epäedullisista muutoksista.

Author: Niiles Airola**Name of the thesis:** Relative Factors in the Minimization of Reel Bottom Broke
on a SC-rotogravure Paper Machine**Date:** 31.1.1996**Number of pages:** 107**Faculty, Department, Professorship:**

Faculty of Process Engineering and Material Science

Department of Forest Products Technology, Puu-21 Paper technology

Työn valvoja :

Professor Hannu Paulapuro

Työn ohjaaja :

M.Sc. Seppo Luomi

The aim of this work was to minimize possible factors, which cause occasional bottom waste to appear at the supercalender unwind on a SC-rotogravure paper machine.

In the following literature roll building and different roll structure theories were inspected. The most important model is Hakiel's nonlinear anisotropic model, which builds up a reel layer-by-layer. The disadvantage of the model is it's complexity. The model does not include the internal forces present in the reel. Previous studies made on at the SC-rotogravure paper machine concluded that filler content, paper friction, z-directional compression and CD-profile variations have an impact on the bottom broke. It should be pointed out that the bottom waste was not attributed to anyone specific piece of paper finishing equipment.

In the literature it was presented that paper's xy-directional elongation and strength properties, z-directional compression, paper surface and it's structure have an impact on the paper behavior during the reel build-up. When the paper moisture content increases, the elastic modulus of paper decreases, which causes the plastic elongation to increase. Increasing the irreversible elongation of the paper makes the finishing of paper more difficult, as paper has less elongation potential left to absorb the tension variations. Z-directional compression of paper affects paper topography and the bulkiness of the web.

A statistical study was carried out based on the papermachine's process data. The share of the unclarified bottom broke of the whole production was 1.8 %. At the same time as bottom waste occurred, the CD-variation of grammage increased. In the machine direction elongation and strength values decreased. Bottom broke was not a problem for any specific paper grade or grammage. In some cases the paper web was strong enough to pass through the supercalendering, but a break took place during the first acceleration on the winder.

During the trials, it was found out that at the same time as bottom waste occurred the cross directional variation of the grammage and thickness values decreased. During low level of bottom waste, the edge thickness of CD-profiles were 3-4 μm thicker than the average of the web. In the reels, where bottom broke was observed, the thickness difference decreased to 0-1 μm . Simultaneously the changes in CD-profiles of grammage and density started further from the edges of the paper web.

A hypothesis was made from actual production data, that the bottom broke is brought about by small cross directional changes in grammage and thickness at the edges of the paper web. The hypothesis was tested with a specific trial, in which the wet pressing action was exaggerated at the paper web edges. However, wet pressing did not cause the right type of differences at the edges. In this work the cause of the paper web edge changes was left out without any solution.

As a conclusion, the reason for the bottom waste on a SC-rotogravure paper machine is small unwanted changes at the paper web edges in cross direction before the machine reel.

ALKULAUSE

Tämä diplomityö tehtiin Valmet Oy Järvenpään yksikön ja Yhtyneet Paperitehtaat Oy Jämsänkosken tehtaan yhteistyönä vuoden 1995 aikana.

Haluan kiittää työni ohjaajaa DI Seppo Luomea, Valmet Oy:stä sekä apuohjaajaa DI Kalle Luomea, Yhtyneet Paperitehtaat Oy:stä inspiroivasta, vapaasta sekä haasteellisesta vuodesta työni parissa. Työn valvojalle Professori Hannu Paulapuruolle haluan osoittaa myös suurkiitokset.

Ohjausryhmään kuuluneita Yhtyneet Paperitehtaat Oy:stä Pertti Pärnystä sekä Mika Kämpeä ja Valmet Oy:stä Matti Innalaa, Silvo Mikkosta, Esa Aaltoa sekä Kai Fabritiusta haluan kiittää työtäni kohtaan osoittamastaan kiinnostuksesta, arvokkaista neuvoista sekä kannustuksesta. Lisäksi suurkiitokset Timo Rautakorvelle ja Teppo Kojolle suuremmoisesta tuesta ja ohjauksessa diplomityön loppuvaiheessa.

SC-syväpainopaperikoneen miehistöä haluan kiittää saamastani avusta koeajojen onnistumiseksi sekä mielenkiintoisista havainnoista paperikoneen elinvuosien ajalta. Suurkiitokset myös Kaipolan ja Jämsänkosken laboratorioiden henkilökunnille.

Lopuksi kiittäisin vielä isääni diplomityöni kieliasun tarkistamisesta ja vaimoani Katariinaa kaikesta siitä inspiroinnista, avusta sekä henkisestä tuesta, jota sain vuoden aikana.

Järvenpäässä, 16.2.1996



Niiles Airola

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	1
KIRJALLINEN OSA		
2	KIINNIRULLAIMET	2
2.1	Yleistä	2
2.2	Kiinnirullaintyypit	2
2.3	Kehävetoinen kiinnirullain	3
2.4	Optireel-kiinnirullaimen rakenne ja toiminta	5
2.4.1	Yleistä	5
2.4.2	Rakenne ja toiminta	6
2.5.3	Rullausparametrit	8
2.5	Muut uuden sukupolven keskiövetoiset kiinnirullaimet	11
2.5.1	TNT-rullain	11
2.5.2	Duoreel	12
3	RULLAN MUODOSTAMINEN	14
3.1	Yleistä	14
3.2	Rullausnipit	15
3.2.1	Nippivoima rullausnipissä	15
3.2.2	Paperikerrosten kokoonpuristuvuuden vaikutus	19
3.3	Rullauskireys	19
4	RULLAN RAKENNE	21
4.1	Rullan rakenteen mallintaminen	21
4.2	Rullauksessa tapahtuvat ilmiöt	27

5	PAPERIN RAKENNE JA OMINAISUUDET	31
5.1	Paperin xy-suuntainen kimmokerroin	32
5.2	Paperin z-suuntainen kimmokerroin	36
5.3	Paperin suppeumakerroin	36
5.4	paperin ominaisuuksien vaikutus rullaukseen	37
6	RULLAUSVIAT	38
6.1	Rullaushylky	38
6.2	Rullausviat ja niiden mekanismit	39
7	KIRJALLISEN OSAN YHTEENVETO	44
KOKEELLINEN OSA		
8	POHJAHYLKY	46
8.1	Yleistä	46
8.2	Pohjahylyn ilmeneminen	46
8.3	Työn lähtötilanne	47
9	AIKAISEMMAT TUTKIMUKSET	49
9.1	Yleistä	49
9.2	Yhtyneet Paperitehtaat Oy:n tekemät tutkimukset	49
9.3	Valmet Oy:n suorittamat tutkimukset ja mittaukset	52
9.4	Yhteenveto ja johtopäätökset	54
10	TUTKIMUSMENETELMÄT	54
10.1	Yleistä	54
10.2	Tilastoanalyysi	55
10.3	Paperitekniset selvitykset	57

11 TILASTOLLINEN TARKASTELU	60
11.1 Yleistä	60
11.2 Prosessin tilastollinen tarkastelu ajalta 30.9.1994-30.3.1995	60
11.2.1 Tilastollinen pohjahylyn kartoitus	60
11.2.2 Korrelaatioanalyysit	68
11.2.3 MAR-analyysit	68
11.3 Rajattu tilastollinen tarkastelu ajalta 30.9.1994-30.3.1995	70
11.3.1 Siirtyminen pohjahylkytilanteeseen	70
11.3.2 Erot pohjahylyllisten konerullien sisällä	70
11.3.3 Hyvät vs huonot konerullat	72
11.3.4 Muut analyysit	73
11.4 Yhteenveto ja johtopäätökset	74
12 PROSESSITEKNISET SELVITYKSET	75
12.1 Yleistä	75
12.2 Seurantakoeajo	76
12.2.1 Yleistä	76
12.2.2 Korrelaatiot	77
12.2.3 Regressioanalyysi	81
12.2.4 Konerullan pinnan ja pohjan väliset erot	84
12.3 Yhteenveto ja johtopäätökset	85
13 POHJAHYLYN SYNTYMISHYPOTEESI	86
14.1 Yleistä	86
14.2 Pohjahylyn syntymisen syy	87
14.3 Hypoteesiin vaikuttavat prosessitekijät	88

14 HYPOTEE SIN VARMENNUS	89
14.1 Yleistä	89
14.2 Koejärjestelyt	90
14.3 Esikokeet	91
14.4 Pääkokeet	92
14.4.1 Varianssianalyysi reunapuristuksen suhteen	93
14.4.2 Korrelaatiot reunapuristuksen suhteen	95
14.4.3 Korrelaatiot pohjahylyn suhteen	96
14.5 Lämpökamerakuvaus	100
14.6 Koeajon yhteenveto ja johtopäätökset	101
 15 TULOSTEN LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI	 103
 16 JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSET	 103
 17 KOKEELLISEN OSAN YHTEENVETO	 105
 LÄHDELUETTELO	
 LIITELUETTELO	
 LIITTEET	

LYHENNELUETTELO

TEKSTISSÄ KÄYTETYT LYHENTEET:

SC	superkalanteroitu puupitoinen aikakausilehtipaperi
SCa, SCb, SCc, SCd,...	paperitehtaan syväpainolajeja
PK	paperikone
SK	superkalanteri
PL	pituusleikkuri
HP	hoitopuoli
KP	käyttöpuoli
K-(arvo)	paperikoneen rainan ominaisuudet ennen loppukostutuslaitetta
R-(arvo)	paperikoneen rainan ominaisuudet paperikoneen kiinnirullauksessa
X-(arvo)	rainan reunaprofiilien taittumisen etäisyys rainan reunasta
Y-(arvo)	rainan reunaprofiilin poikkeama profiilin keskiarvosta

KAAVOISSA KÄYTETYT LYHENTEET:

A	pinta-ala
B,C	vakioita
c	paperin paksuus (mm)
E	kimmomoduli/kimmokerroin
E_t	kimmokerroin tangentin suuntaan
E_r	kimmokerroin säteen suuntaan
F	kuormitusvoima
f_s	varmuuskerroin
h	rullausnipissä tapahtuva konerullan painauma
I	hitausmomentti
K_1	vakio Hakielin epälineaarisessa mallissa
K_2	vakio Hakielin epälineaarisessa mallissa
K_3	vakio Hakielin epälineaarisessa mallissa
N	viivakuorma

P	kuormituspaine
P_c	konerullassa säteen suuntainen puristusjännitys
P_t	konerullassa tangentin suuntainen puristusjännitys
P_p	paperipinon puristusaine z-suunnassa
R	konerullan säde tarkastelupisteessä
R_2	konerullan kokonaissäde tarkasteluhetkellä
r_r	konerullan säde
r_t	rullaussylinterin säde
r_0	tampuuriraidan ulkosäde
T	rainajännitys rullauksessa
T_1	rainajännitys ennen rullaussylinteriä
T'_1	nippiin menevä rainajännitys
V_r	konerullan kehänopeus
V_t	rullaussylinterin kehänopeus
W	nipin leveys, konerullan leveys

KAAVOISSA KÄYTETYT KREIKANKIELISET LYHENTEET:

α_d	hidastuvuustekijä
ϵ	venymä jännityksen suunnassa (yksikötön)
ϵ_p	venymä kohtisuoraan jännitystä vastaan
$d\epsilon_x$	radiaalisuuntainen jännitys
$d\theta$	sektorin kulman muutos
μ	lepokitkakerroin paperikerrosten luistorajalla
μ_d	liikekitkakerroin
μ_s	lepokitkakerroin
σ_r	radiaalipuristuksen minimiarvo
$d\sigma_x$	tangentin suuntainen jännitys
ω	kulmanopeus
ω_t	rullaussylinterin kulmanopeus
ω_r	konerullan kulmanopeus

1 JOHDANTO

Paperikoneiden tehokkuuksien, nopeuksien ja leveyksien kasvun myötä paperinvalmistusprosessin eri vaiheille on asetettava uusia vaatimuksia. Tuotannon tehokkuuden hallintaan vaikuttavat paperikoneen nopeus, sen katkoajan vähyys sekä hylkyosuus. Hylkyosuudessa suurimmat säästömahdollisuudet ovat syntyneet lähinnä uudentyyppisen rullaustavan kehittämisen myötä. Vaikkakin uusi rullaustapa on alentanut muun muassa SC-paperilinjoiden hylkyprosenttia huomattavasti, niin kaikkia ongelmia ei ole pystytty ratkaisemaan.

Työ toteutettiin eräällä SC-syväpainopaperia valmistavalla paperikoneella, jolle on toimitettu Valmetin kehittämä Optireel-kiinnirullain. Käyntiajasta lähtien ongelmaksi oli koettu vaihteleva pohjahylyn määrä, mikä ilmeni ratakatkoina lähinnä superkalanterin aukirullauksen pohjamuuton loppumetreillä tai pituusleikkurin ensimmäisen muuton alkumetreillä. Ratakatkot aiheuttivat edelleen superkalanterin paperitelojen käyttöajan lyhentymistä sekä pidempiä seisontoja konerullien välillä.

Tämän diplomityön päätavoitteena oli selvittää, mitkä ovat pohjahylyn syntymisen syyt vakiorullausparametreilla. Toissijaisena tavoitteena oli superkalanteroinnin alkurullauksessa ilmenevien satunnaisten pohjahylkyesiintymien poistaminen.

KIRJALLINEN OSA

2 KIINNIRULLAIMET

2.1 Yleistä

Paperikonelinjoilla suoritetaan normaalisti vähintään yksi kiinni- ja aukirullaus ennen paperirainan leikkausta pituusleikkurilla. Yleensä paperin jälkikäsitteilyasteen nosto lisää paperin rullauskertoja. SC-paperilla on kaksi kiinnirullausta ennen rainan leikkausta asiakasrulliksi.

2.2 Kiinnirullaintyytit

Paperirainan kiinnirullaus voidaan toteuttaa kolmella eri menetelmällä: keskiövetoisesti pyörittämällä konerullaa akselilta, kehävetoisesti vasten rullaussylinteriä tai näiden molempien yhdistelmänä.

Kehävetoisessa rullauksessa muodostuvaa konerullaa painetaan erillisellä käytöllä varustettua rullaussylinteriä vasten. Paperiraina johdetaan kulkemaan pitkin sylinterin pintaa, josta se joutuu rullaussylinterin ja syntyvän rullan väliseen kosketuskohtaan, nippiin, missä raina irtaantuu sylinterin pinnalta ja rullautuu konerullaan. Rullausvoima välittyy rullaussylinteriltä konerullaan nipin kautta.

Kehävetoisen rullauksen etuna on se, että ratanopeuden suhde syntyvän rullan kierrosnopeuteen on täysin hallittavissa. Lisäksi vaihtotapahtuma on helppo ja varma. Ongelmana kehävetoisessa rullauksessa on rullaussylinterin ja paperirainan tai konerullan ja paperirainan välinen luisto nipissä, ilmavirtausten vaikea hallinta suurilla nopeuksilla sekä rajallinen määrä konerullan hallintaparametrejä. Lähes kaikki ennen 90-lukua rakennetut kiinnirullaimet ovat olleet kehävetoisia.

Tietyillä rullauksen kannalta ongelmallisilla paperilajeilla paperikoneen kiinnirullaukseen on kehitetty erillaisia ratkaisuja, missä konerullaa rullattaessa käytetään keskiövetoa. Keskiövetoisia rullaimia ovat tyypillisimmin superkalantereiden kiinnirullaimet, missä koko rainan jännitys muodostetaan lähinnä painotelan ja keskiömomentin avulla. Rullaussylinteriä ei käytetä ratakiireyden muodostamiseksi (3,10).

Kolmanteen kiinnirullaintyyppiin kuuluu uudentyyppinen kehävetoinen rullain, esimerkkinä Optireel. Käytännössä rullain toteuttaa samanaikaisesti sekä kehä- että keskiövetoista rullaustapaa. Ominaisuuksiltaan Optireel-tyyppinen rullain on jossain määrin vastakkainen kehävetoiseen nähden. Sen etuja ovat hyvä rullanrakenteen hallinta sekä tietyillä lajeilla rullan rakenteen kannalta tärkeän viivapaineen mahdollinen korvaaminen keskiökäytöllä, mikä vähentää esimerkiksi korkean nippivoiman aiheuttamia kiillottumis- ja markkeerausongelmia (13).

2.3 Kehävetoinen kiinnirullain

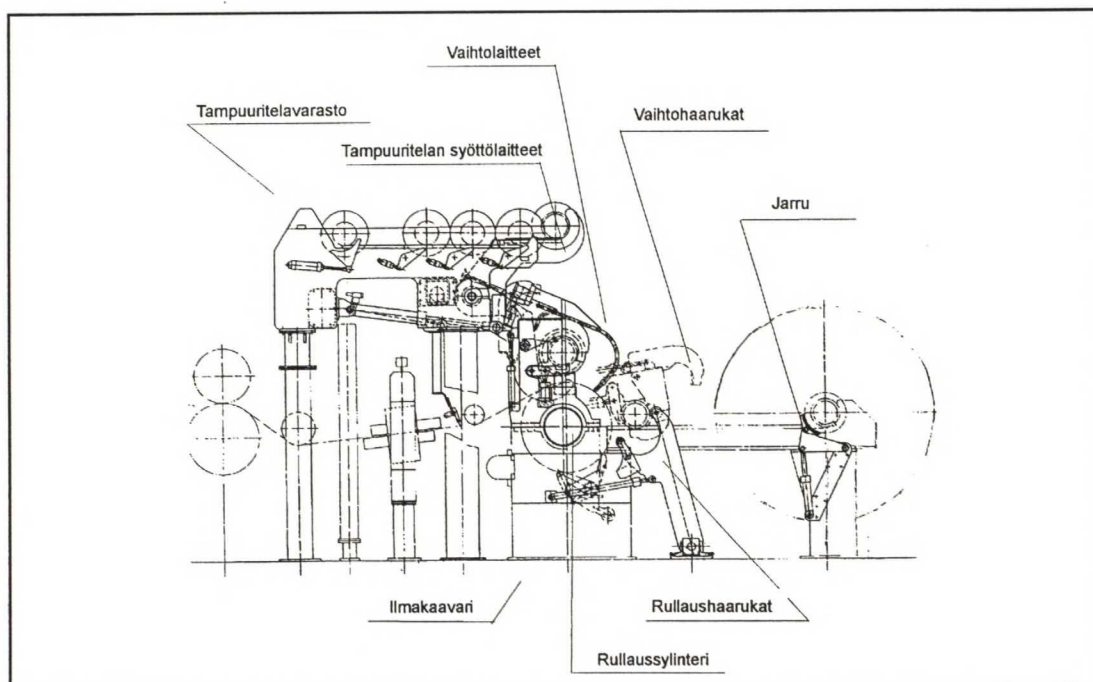
Yleisin tuotannon käytössä oleva kehävetoinen kiinnirullain on ns. Pope-tyyppinen kiinnirullain. Pope-tyyppinen kiinnirullain koostuu tyypillisesti seuraavista toiminnoista ja komponenteista:

1. tampusoritelan varastoasemasta
2. tampusoritelan syöttölaitteista
3. rullaussylinteristä
4. vaihto- eli ensiöhaarukoista
5. rullaus- eli toisiorullaushaarukoista
6. vaihtolaitteista

Uuden konerullan rullauksen aloitus on eräs kiinnirullauksen suurimmista ongelmakohdista, jolloin tapahtuu suurin osa rullaimen mekaanisista liikkeistä.

Pope-rullaimen sekvenssi toimii seuraavasti:

1. Ennen vaihtoa, tampouritelan syöttölaite hakee varastoasemasta uuden tampouritelan.
2. Tyhjä tampouritela lasketaan rullaussylinterin yläpuolelle vaihtohaarukoiden varaan niin, ettei se kosketa rullaussylinteriä.
3. Tyhjä tampouritela kiihdytetään pintavetoisesti ratanopeuteen ja siirretään vaihtoasemaan ennen rullaussylinterin ja telan välisen nipin sulkemista.
4. Vaihdon hetkellä raina katkaistaan paineilmasuihkulla, joka samalla puhalttaa rainan tyhjän tampouritelan ympärille.
5. Täysi konerulla vedetään rullaushaarukoilla irti rullaussylinteristä ja uusi rullautuva konerulla lasketaan rullauskiskoille.
6. Edellisen konerullan luovutuksen jälkeen vaihto- ja rullaushaarukoiden kuormitukset vaihdetaan. Tämän jälkeen rullaussekvenssi aloitetaan alusta.



Kuva 1. Pope-tyyppinen kiinnirullain.

Perinteisellä pope-rullaimella ei voida riittävästi vaikuttaa rullausprosessin kannalta oleellisesti vaikuttaviin asioihin, kuten:

1. kone-elinten liikkeiden aiheuttamiin epäjatkuvuuksiin ja niistä aiheutuvaan konerullan rakenteen heterogeenisuuteen
2. paperilajikohtaisesti optimoituun rullausprosessiin
3. poikkisuuntaisen viivakuormituksen tasaisuuteen ja profilointiin

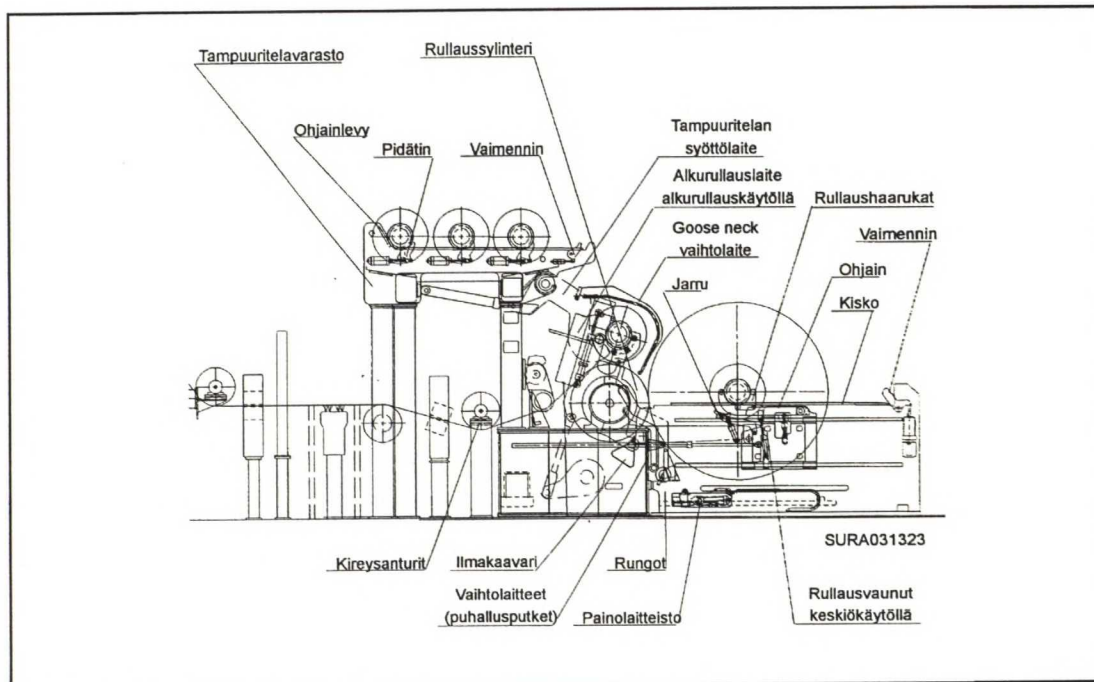
Edellä mainitut ongelmat ovat vuosittain aiheuttaneet paperitehtaille jopa kymmenien miljoonien markkojen tuotannon menetykset.

2.4 Optireel-kiinnirullaimen rakenne ja toiminta

2.4.1 Yleistä

Optireel-rullausprosessissa pyritään kiinnittämään erityistä huomiota rullauksen virheettömyyteen. Pääkomponenteiltaan rullain muistuttaa hyvin pitkälti traditionaalista Pope-rullainta. Suurimmat erot Pope-rullaimeen verrattuna ovat keskiökäytöt, toisiohaarukoiden korvaaminen rullausvaunuilla sekä konerullan rullauksen monipuolisempi hallitseminen useammalla rullausparametrilla (13).

Uuden rullausmenetelmän avulla on pystytty eliminoimaan ensiohaarukoiden aiheuttamat epäjatkuvuuskohdat sekä optimoimaan koko konerullan rakenne alusta loppuun asti viivapaineen ja ratakireyden lisäksi keskiömomentilla sekä rullausnipin poikkisuuntaisen viivapaineprofiilin paremmalla hallitsemisilla eli profiloinnilla. Uusi rullausmenetelmä mahdollistaa entistä suurempien konerullien muodostamisen (13,15).



Kuva 2. Optireel-tyyppinen kiinnirullain.

Rullauksen aloitus tehdään laskemalla tampuuritela tiettyyn rullauskulmaan rullaussylinteriä vastaan, jolloin painovoima huolehtii radan poikkisuunnassa tasaisen rullausnippikuormituksen syntymisestä. Rullausjännitys muodostetaan lähinnä keskiömomentin ja ratajännityksen avulla (15).

2.4.2 Rakenne ja toiminta

Tyhjä tampuuritela lasketaan vaihtoa varten alkurullauslaitteistoon, johon se lukitaan lukitusleuoilla. Hoitopuolella sijaitseva tampuuritelan keskiökäytön kytkin kiinnitetään ja tampuuritela kiihdytetään ratanopeuteen. Vaihtotilanteen alussa alkurullauslaitteisto käännetään aluksi valmiusasentoon eli tampuuritela tuodaan muutaman senttimetrin päähän valmistuvasta konerullasta noin 25-30 asteen kulmaan pysty akselista. Valmis konerulla ottaa vastuun ratakiireydestä rullaussylinterin muuttuessa rainanjohtotelaksi. Vaihdon hetkellä valmistuva konerulla vedetään irti rullaussylinteristä rullausvaunuilla ja uusi tampuuritela tuodaan alkurullauslaitteessa joko rullauskiskoille tai uudemmissa

versioissa tiettyyn vaihtokulmaan. Rullaussnippi suljetaan ja vaihto tapahtuu alapuolisella vaihtopuhalluksella (37).

Alkurullauslaitteiston rungot ovat laakeroitu rullaussylinterin laakeripesän ympärille ja on tahdistettu toisiinsa koneen poikkisuuntaisella tahdistusakselilla. Tampuuritela lukitaan alkurullauslaitteistoon hydraulisesti kuormitettavien lukitusleukojen avulla. Alkurullauksen aikana viivapaine muodostetaan rullaussnipissä hydraulilla kuormitusylintereillä. Sääto tapahtuu proportionaaliventtiileillä konerullan halkaisijan ja profilointikulman funktiona (37).

Rainan siirto täydeltä tampuuritelalta tyhjälle tampuuritelalle tapahtuu alapuolisen puhalluksen avulla. Rakenteeseen kuuluu puhallusputki suuttimiseen sekä niiden ohjauslaitteet.

Valmistunut konerulla jarrutetaan vaihtoasemassa ja luovutetaan pysähtymisen jälkeen pois siirtämistä varten. Luovutuksen jälkeen rullausvaunut ohjataan kiinni kasvavaan konerullaan. Ensiksi vaihdetaan rullaussnipin viivakuormitus ja tämän jälkeen keskiökäytön momentti alkurullauslaitteen kanssa. Alkurullauslaite nousee yläasentoon, mikä mahdollistaa uuden tampuuriraudan hakemisen tampuurivarastosta. Vaihtotilanne on esitettyä kuvin liitteessä 1 (12).

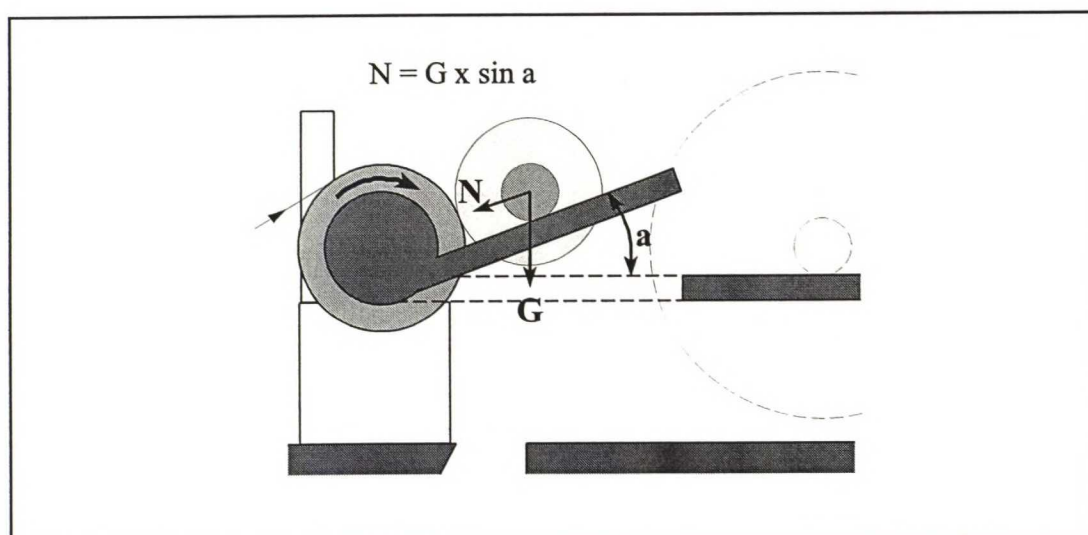
Hydraulisylintereillä varustetuilla rullausvaunuilla kuormitetaan rullauskiskoilla olevaa tampuuritelaa rullaussylinteriä vastaan. Vaunuihin on kytketty käyttöpuolella keskiökäyttö. Vaihtotilanteessa, kun nippi on auki, valmista konerullaa painetaan alapuolisella painolaitteella konerullan pintakerrosten löystymisen estämiseksi.

Rullaimella on tyhjien tampuuritelavarasto, josta telojen syöttö alkurullauslaitteistoon tapahtuu tampuuritelan syöttölaitteen avulla.

2.4.3 Rullaussparametrit

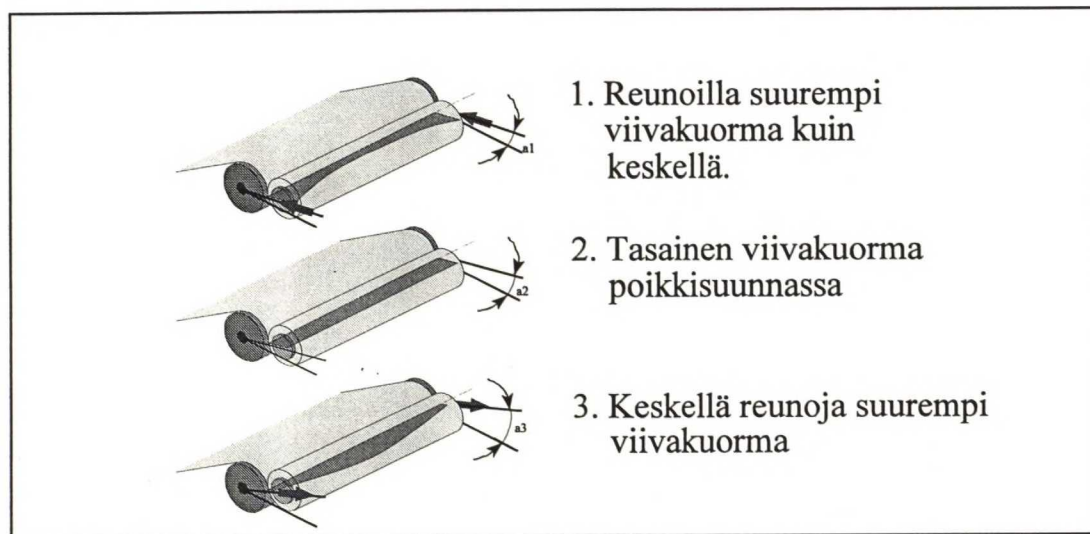
Rullauksen alusta lähtien poikkisuunnassa tasainen ja helposti hallittava *viivakuorma* perustuu konerullan oman painon aiheuttamaan tukireaktioon rullaussylinteriä vastaan (kuva 6).

Poikkisuunnassa tasaisen viivakuorman säätö tapahtuu muuttamalla konerullan asemaa (rullauskulmaa) rullaussylinteriin nähden (kuva 4). Tällöin viivakuormituksen poikkisuuntainen säätö helpottuu ja säätötarkkuus paranee traditionaaliseen kiskoilla



Kuva 3. Rullauksen aloitus tietyssä muuttuvassa vakiokulmassa, jolloin saavutetaan rullausnipissä tasainen viivakuorma (10).

rullaukseen nähden. Oletetaan tietyllä viivapaineella ja tampuuriraudan painolla ideaalirullauskulmaksi a_2 (kuva 4), missä viivapaine muodostuu sekä rullausnipin keskellä että sen reunoilla yhtä suureksi. Jos konerullaa rullataan aluksi liian pienellä kulmalla muodostuu kuormitus suuremmaksi reunoilla ja vastaavasti suuremmilla kulmilla viivakuorma kasvaa keskialueella.



Kuva 4. Viivakuormitusprofiloinnin periaate (10).

Profiloinnilla muodostetaan ns. optimikulma viivapaineen tasaisuuden suhteen. Konerullan rullauskulman a_3 ollessa suurempi kuin optimipiste, rullataan negatiivisen profiloinnin puolella, jolloin rullauspinnan keskiosassa vallitsee suurempi viivapaine. Vastaavasti positiivinen profilointi tarkoittaa rullaamista optimikulman alapuolisilla rullauskulmilla (10).

Paperikoneella ajonopeus on tasainen eikä kiihdytyksiä esiinny, kuten esimerkiksi välirullaimilla. Täten *keskiökäyttöä* on käytetty lähinnä rullan rakenteen optimoimiseen ja lisäksi loppurullauksen ajan huolehtimaan ratakiireydestä, jotta viivapainetta voidaan laskea valmiin konerullan ulosottoa varten. Kehävoimalla voidaan hallita myös pussitusongelmia ja pienillä viivakuormilla esiintyvää rullaussylinterin luistoa (15).

Ratakiireys muodostuu rullaussylinterin ja viimeisimmän kuivatusryhmän välisestä nopeuserosta. Todelliseen rullautumiskiireyteen vaikuttavat vielä viivakuorma rullauspinnassa sekä keskiömomentti.

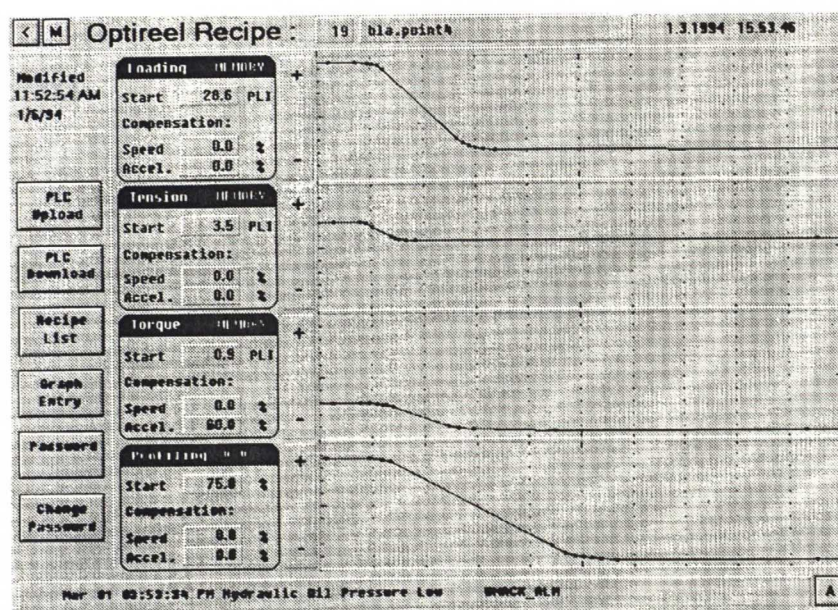
Optimaalinen rullan rakenne saavutetaan hyödyntämällä rullauksen alusta loppuun mahdollisimman hyvin kaikkia rullausparametreja: ratakiireyttä, viivakuormaa,

keskiömomenttia sekä profilointia. Kuvassa 5 on esitetty malli näiden neljän ohjausparametrin hallinnasta.

Käytännössä näitä neljää parametria hallitaan seuraavasti:

Viivakuorman (=loading, linear load) hallintakäyrä on muodoltaan esimerkiksi SC-paperilla alkuvaiheessa lähes 2-4 kertainen loppurullausviivakuorma nähden (kuva 5, ylin ohjauskäyrä). Viivakuorman muutos aloitetaan tietyn halkaisijan kuten esim. rullaussylinterin halkaisijan saavuttamisen jälkeen.

Konerullan rullauskireys muodostuu rullausjännitysteorian mukaisesti eli ennen rullainta olevasta *ratakireydestä* (=tension), rullausnipin aiheuttamasta kireyslisästä sekä Optireelin keskiömomentilla saavutetusta lisäkireydestä nipin jälkeen. Optireelissä käytetyt ratakireyskäyrät ovat olleet muodoltaan samantyyppisiä kuin viivakuorma- ja kehävoimat, mutta tasoerot rullauksen alussa ja lopussa ovat prosentuaalisesti selvästi pienempiä tai jopa olemattomat verrattuna keskiömomentin ja viivakuorman säätömäärään. Joissakin tapauksissa käytetään vakio ratakireyttä (12).



Kuva 5. Konerullan optimointiin käytettävät rullausparametrit (12).

Kehävoimaa (=torque) voidaan käyttää viivapaineen alentamiseksi rullaimella. Sen avulla voidaan korvata aikaisemmin vain viivapaineen kautta tuotu konerullan momentti konerullan pyörittämistä varten. Rullaussylinterin ja konerullan välistä luistokynnystä voidaan alentaa lisäämällä keskiökäyttöä ja alentamalla vastaavasti viivapainetta. Käytännössä keskiökäyttöä ohjataan samanlaisella ramppiohjauksella konerullan halkaisijan funktiona kuin viivapainetta (12).

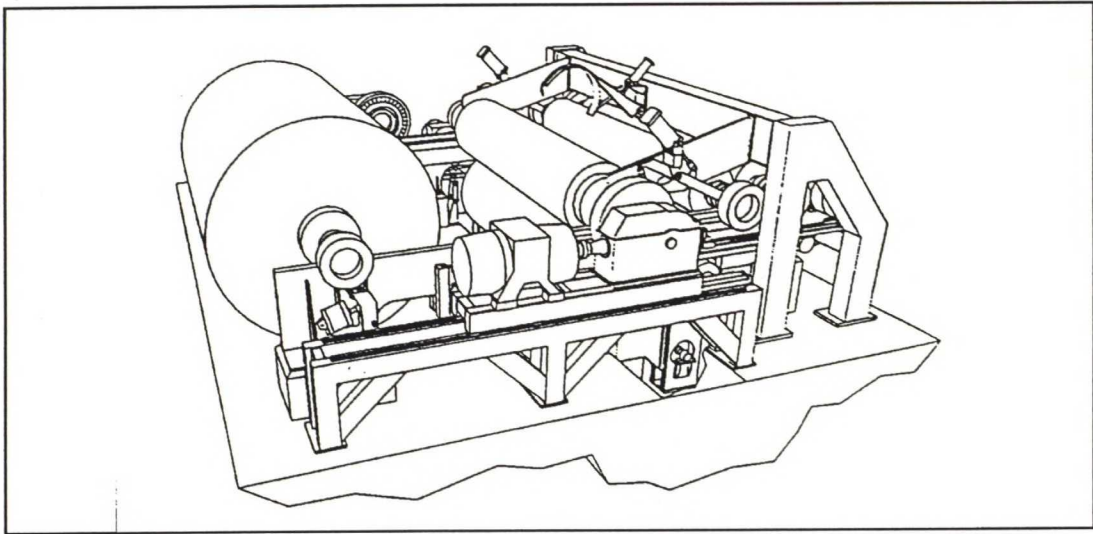
Profilointia (=profiling) on käytetty Optireelissä siten, että rullan pohjalle ajetaan reunakuormitteisesti tiukkaa rullausta. Tällä pyritään lukitsemaan pohja reunoilta ja sisänipin aiheuttama rullaava vaikutus sekä "satikan" synty estetään. Rullan kasvaessa profilointikäyrä muuttuu positiivisesta negatiiviseksi (kuva 5) ja suurin osa rullauksen kestosta ajetaan keskialuetta kuormittamalla. Tämä parantaa konerullan poikkisuuntaista jäykkyyttä sekä pienentää sisänipin reunakuormituksia (12).

2.5 Muut uuden sukupolven keskiövetoiset kiinnirullaimet

2.5.1 TNT-rullain

TNT (=tension, nip load, torque) on Beloitin vastine Valmetin Optireelille. Käytännössä suurimmat eroavuudet ovat: tampuuritelaa siirretään vain konesuuntaan kiskoja pitkin ja rullaussylinteriä vertikaalisesti optimaalisen rullausnipin löytämiseksi. Lisäksi konerullaus tapahtuu koko rullauksen ajan samalla keskiökäytöllä (34).

TNT-rullaimessa rullaussylinteri nostetaan ja lasketaan konerullan rakentumisen aikana. Optimaalisen rullauskulman löytämiseen vaikuttaa vertikaalisuuntaisena tekijänä rullaussylinterin ja horisontaalisena konerullaan sijainti toisiinsa nähden. Rullaussylinteri liikkuu lineaarikiskoja pitkin liikkeiden aikana. Rullaussylinterin passiiviset massat kompensoidaan pääsylinterin avulla, joka on sijoitettuna ns.



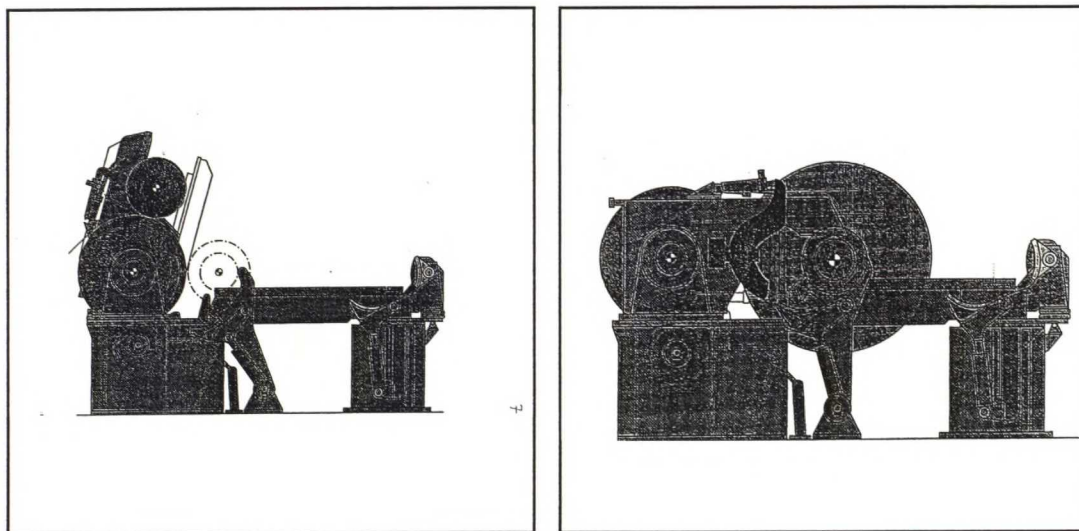
Kuva 6. Beloitin uuden sukupolven kiinnirullain tyyppiä TNT.

rullaussylinterin kehtojen alapuolelle. Samoihin kehtoihin on kiinnitettyä molemmin puolin konetta toiset hydraulisylinterit, joiden tarkoituksena on säätää rullausnipin painetta (34, 40).

Rullaimen molemmin puolin on sijoitettu keskiökäytöt, joita käytetään vuorotellen konerullien valmistukseen. Koko konerullan valmistaminen samalla keskiökäytöllä asettaa suuret vaatimukset sähkömoottorin käytölle. Etuina muihin rullaimiin verrattuna voidaan pitää viivapaineen ja keskiömomentin hallitsemista ilman kuormituselinten vaihtotilanteita lukuunottamatta vaihdon jälkeistä yläkuolokohtaa tampuuritelan ylittäessä rullaussylinterin (34,40).

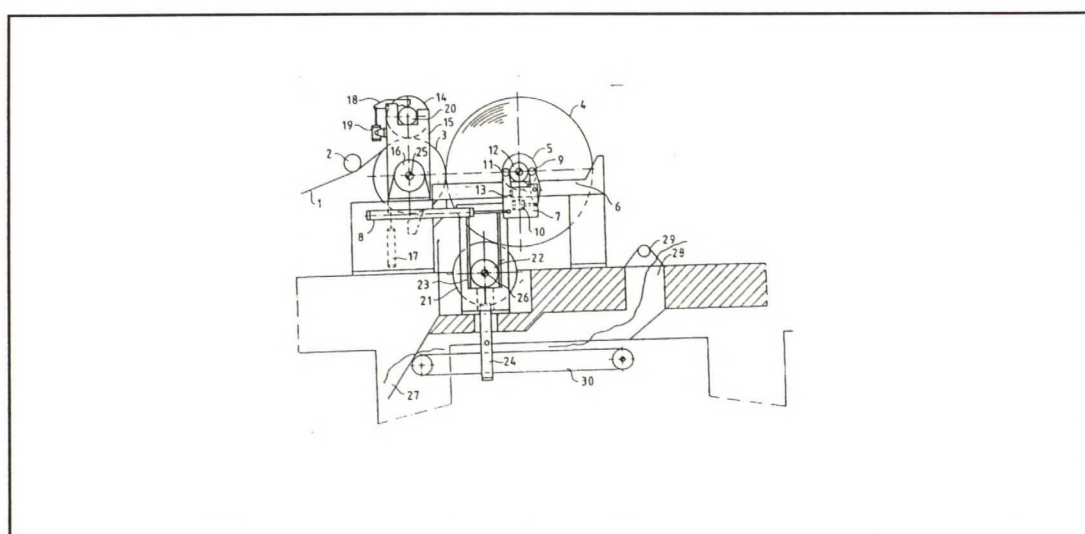
2.5.2 Duoreel

Voithin kehittämän Duoreelin suurimmat eroavuudet Optireeliin nähden ovat siinä, että Duoreelissä rullausvaunun sijaan käytetään traditionaalisia toisiorullaushaarukoita jarrulaitteineen. Rullan rakentamisen kannalta alkurullaus toteutetaan keskiömomentin ja ratakireyden avulla ja toisiorullaus lähinnä viivapaineen ja ratakireyden avulla. Toisiorullaus toteutetaan ilman keskiövetoa.



Kuva 7. Voithin Duoreel-kiinnirullainkonsepti sekä alkurullaus- että keskiökäytöllä.

Voith on myös hakenut patentin ns. "kantotelaleikkuri"-tyyppiselle kiinnirullaimelle. Tämä uusi rullaintyyppi eroaa aikaisemmin esitetyistä siten, että rullaukseen käytetään toista rullaussylinteriä, mikä sijaitsee konerullan alapuolella. Rullauskireys muodostetaan näiden kahden sylinterin vetoerona keskiömomenttisäädön lisäksi. Toisiohaarukat on korvattu rullausvaunuilla (36).



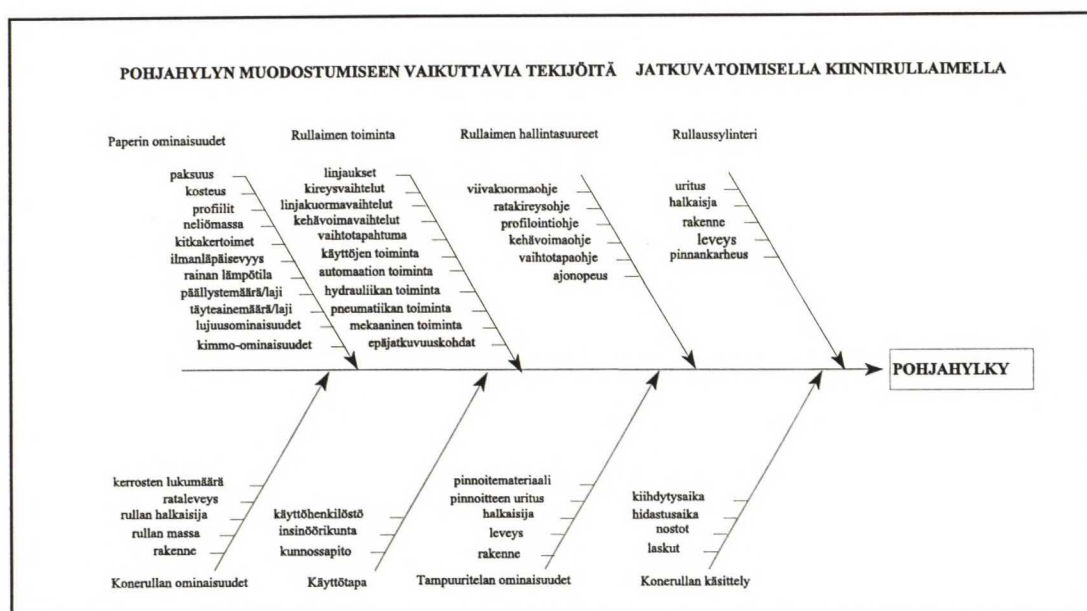
Kuva 8. Voithin ns. kantotelaleikkuri-tyyppinen kiinnirullain.

3 RULLAN MUODOSTAMINEN

3.1 Yleistä

Paperia kierrettäessä tiukasti paperirullan ympäri siitä aiheutuu paine allaoleviin paperikerroksiin. Rullaan syntyy sisäisiä sekä säteen että tangentin suuntaisia jännityksiä. Nämä riippuvat rullausjännityksestä (6), joka puolestaan muodostuu rainan konesuuntaisesta jännityksestä rullan uloimmassa kerroksessa nipin jälkeen. Rullausjännitys muodostuu rullausnipin sekä rainajännityksen summatekijöinä, joihin keskiövetoisessa rullauksessa vaikuttaa vielä konerullauksen keskiömomentti.

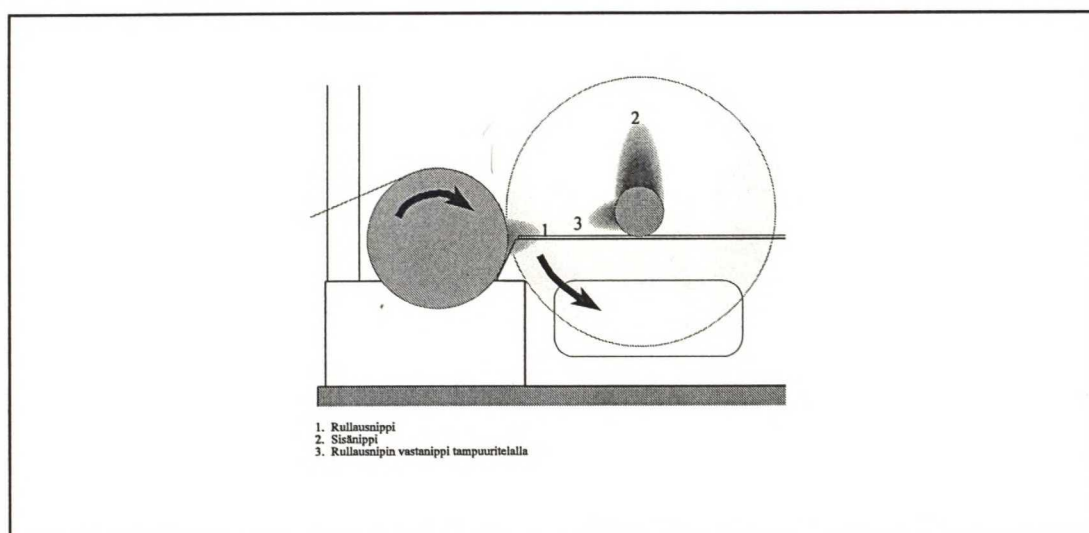
Rullaukseen vaikuttavat hyvin monet tekijät. Kuvassa 9 on esitettyä kaavio eri parametreista, mitkä vaikuttavat rullautumiseen ja mahdollisen pohjahyllyn syntymiseen.



Kuva 9. Rullauksen prosessikaavio ja tekijät (38).

3.2 Rullaussnipit

Rullaussnipillä tarkoitetaan yleisimmin rullaussylinterin ja konerullan välistä kosketuskohtaa (kuva 10). Rullaussnipin lisäksi konerullassa vaikuttaa kaksi muuta nippiä. Toinen nippi on paperirullan massasta aiheutuva nippi tampuuriraudan ja paperiosan välillä.



Kuva 10. Konerullan rullauksen aikana vaikuttavat konerullan nipit.

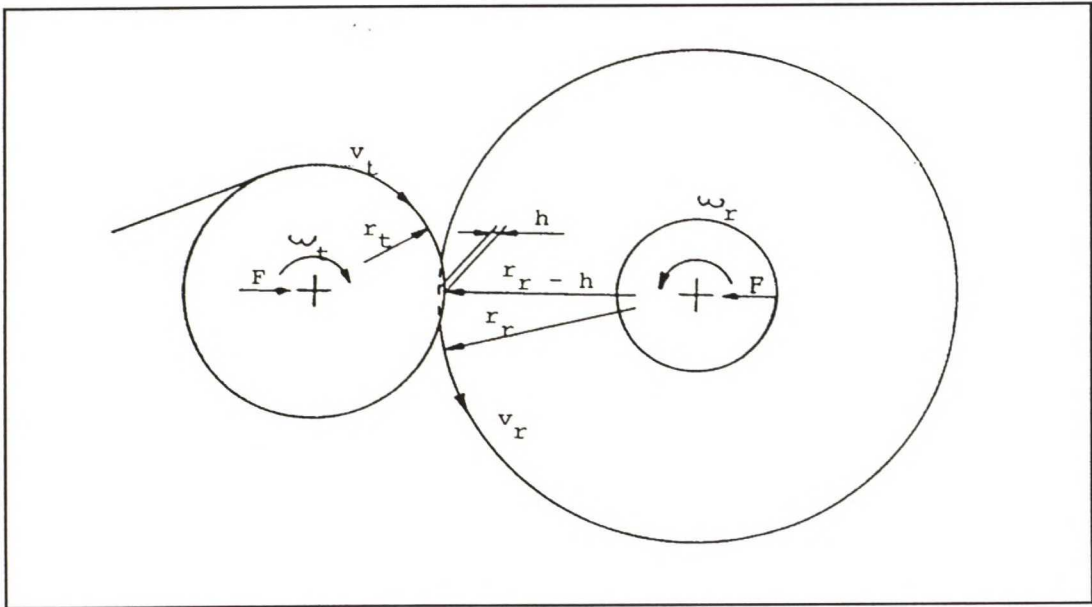
Kolmas nippi muodostuu edellä mainitun rullaussnipin tampuuritelan ja paperiosan välille (16).

3.2.1 Nippivoima rullaussnipissä

Pfeiffer (19) on kokeellisesti osoittanut, että vedettäessä telaa paperipinon yli, muodostuu venymä ylimmässä paperiarkissa nipin jättöpuolelle. Rullaussylinterin ja konerullan välinen nippi toimii saman periaatteen mukaan. Jos oletetaan, että paperiraina seuraa rullaussylinteriä nipin keskelle ja tämän jälkeen konerullaan ilman liukumaa, voidaan nipin jälkeinen venymä ylimmässä kerroksessa laskea seuraavan kaavan mukaan (17):

$$\varepsilon = \frac{(V_r - V_t)}{V_t} \quad (1)$$

Kuvan 11 mukaan $V = \omega r$, missä ω on kulmanopeus ja r säde, sekä $\omega_t r_t = \omega_r (r_r - h)$, missä h on puristuma.



Kuva 11. Kokoonpuristuma h rullaussnipissä (3).

Näiden ehtojen perusteella seuraa:

$$\varepsilon = \frac{\omega_r r_r - \omega_r (r_r - h)}{\omega_r (r_r - h)} = \frac{h}{r_r - h} = \frac{h}{r_r} \quad (2)$$

koska $h \ll r_r$.

Nipin rainaa kiristävä vaikutus perustuu siihen, että paperirullan kokoonpuristuvuuskerroin säteen suunnassa lähestyy nollaa rullauksessa (2). Materiaalit, joiden Poisson-luku on alle 0.5, ovat kokoonpuristuvia. Paperirulla on

tilavuudeltaan kokoonpuristuva. Nipissä vallitsevan viivakuormituksen takia rullaussylinteri painuu matkan h rullan sisään. Rullan vapaa säde on r_r ja nipin kohdalla säde on pienimmillään, $r_r - h$.

Paperirainan tullessa nippiin sen nopeus on edelleen v_t , eikä nipissä vallitsevan suurimman puristuspaineen kohdalla tapahdu paperikerrosten välistä luistoa. Konerullan kulmanopeus ω_r pysyy koko ajan vakiona. Näin ollen paperirainan tullessa ulos nipistä sen nopeus joutuu kasvamaan v_r :ään, koska rullan säde suurenee. Tämä nopeuden kasvu aiheuttaa ylimpien paperikerrosten välistä luistoa sekä venymän paperirainaan. Painuman h suuruus riippuu edelleen rullaussylinterin ja konerullan halkaisijoista ja rullan kone- ja poikkisuuntaisista kimmo-ominaisuuksista. Näin ollen nipin aiheuttama jännitys on (2):

$$T = E_t \varepsilon = E_t \frac{h}{r_r} \quad (3)$$

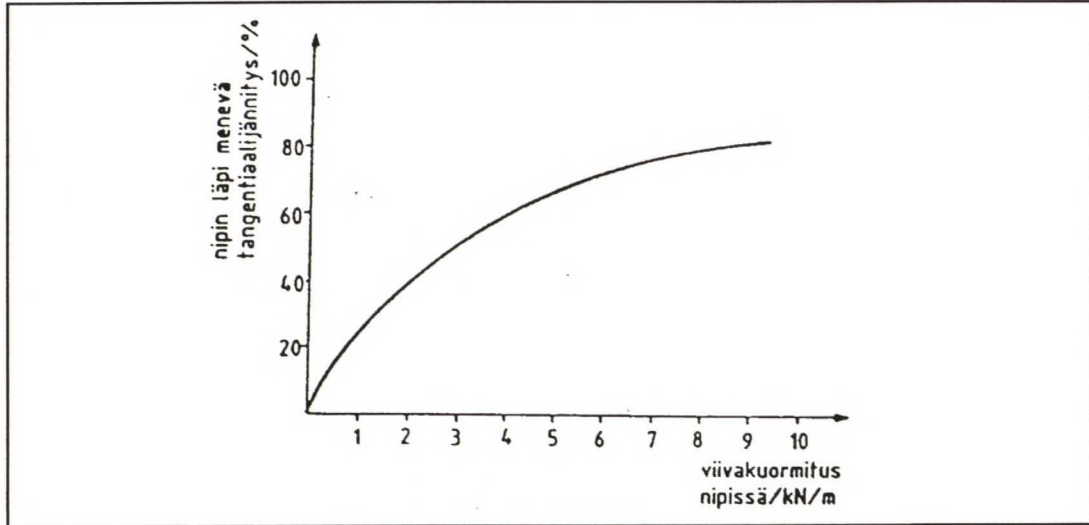
Tärkein painumaan h vaikuttava tekijä on nipissä esiintyvä viivakuormitus. Nipin aiheuttama jännitys ei ole lineaarinen viivakuormituksen suhteen. Viivakuormituksen kasvaessa paperirullaan syntynyt painuma h ei kasva samassa suhteessa, koska viivakuormaa kantava pinta-ala kasvaa suhteessa enemmän. Näin ollen ei myöskään nipin aiheuttama ratajännitys kasva samassa suhteessa (2).

Roisum (6) on esittänyt väitöskirjassaan nippikuorman muodostuvan kuormituspainesta, aktiivisesta kontaktipinta-alasta sekä konerullan leveydestä:

$$N = \frac{2 P A}{W} \quad (4)$$

Nippikuorman säätämisestä halutun tangentiaali-jännityksen lisän saavuttamiseksi on kokeellisesti saatu kuvan 12 mukaisia tuloksia. Tämän perusteella lisättäessä

viivakuormitusta korkean viivakuormituksen (yli 5-7 kN/m) alueella saavutettavat muutokset tangentiaaliännitykseen ovat pienemmät.



Kuva 12. Nippin läpi menevän rainajännityksen osuus rainajännityksestä ennen nippiä viivakuormituksen funktiona sanomalehtipaperille (52 g/m²) (3).

Pfeiffer (18) on laboratoriorullakoneella mitannut nipin aiheuttaman jännityksen ja määrittänyt sen suhteen viivakuormituksen kanssa seuraavanlaisesti:

$$N = C \varepsilon^T B - C \quad (5)$$

, missä B,C ovat vakioita.

Viivakuormituksen yhtälö on yhdenmukainen paperipinon puristus-puristumakäyrän yhtälölle:

$$P_p = K_1 \varepsilon^{K_2} - K_1 \quad (6)$$

Hakiel kehitti omassa epälineaarisessa mallissaan Pfeifferin-yhtälön muotoon:

$$E_r = K_1 - K_2 \sigma_r - K_3 \sigma_r^2 \quad (7)$$

Yhtälön K-arvot muodostetaan valitsemalla sopivat arvot polynomien käyrän sovittamisella, jotta ne vastaisivat todellista käytösmallia. Hyvin usein käy niin, että ns. K_3 -termi voidaan jättää pois ja saada halutunlainen malli rullauksen kannalta. Malli sinänsä on hyvin karkea, eikä ota huomioon paperirainan viskoelastista käyttäytymistä (6).

3.2.2 Paperikerrosten kokoonpuristuvuuden vaikutus

Kokoonpuristuvuus rullassa kasvaa, jos esimerkiksi rullauksen alussa konerulla on muodostunut pehmeäksi. Rullaussylinteri painuu konerullaan syvemmälle, jolloin kireytlisä kasvaa. Kireytlisän kasvaessa rulla kovenee, mikä aiheuttaa jälleen painuman pienenemisen. Tämän seurauksena kireytlisä laskee jälleen ja rullaan muodostuu uusi pehmeä kerros. Näin rullaan syntyy vuorotellen kova ja pehmeä kerros. Kerrokset saattavat vuorotella vaimenevasti koko rullan läpi (16).

Nippivaikutus on suurin kokoonpuristuvilla papereilla, kuten esim. sanomalehtipaperilla ja puupitoisilla pohja- ja pehmopapereilla.

3.3 Rullauskireys

Rullauskireys muodostuu rata-kireydestä, rullaussylinterin aiheuttamasta lisäkireydestä sekä keskiömomentin konerullaa kiristävästä vaikutuksesta. Paperin rullaus tapahtuu joko kerrosten luistorajoilla (ja luiston aikana) tai vaihtoehtoisesti tilanteessa, missä ei tapahdu minkäänlaista luistamista. Käytännössä paperi on aina sen verran joustavaa, että sillä on taipumuksena luistaa rullauksen jossakin vaiheessa.

Toinen vaikuttava tekijä konerullan jännitykseen traditionaalisessa rullaimessa on rainan kireys eli paperissa esiintyvä konesuuntainen jännitys (6):

$$T = E \varepsilon c \quad (8)$$

Ratajännitys, joka radassa on ennen rullaussylinteriä, ei mene muuttumattomana rullaan asti. Siihen vaikuttaa rainan kosketuskulma rullaussylinterin pinnan suhteen ja nipissä vaikuttava viivapaine. Kosketuskulman vaikutus on kaavan 9 mukainen (19) vain tilanteissa missä rullaus tapahtuu luiston alaisuudessa tai luistorajoilla.

$$\frac{T'_1}{T_1} = \varepsilon \pm \mu \theta \quad (9)$$

Käytännössä rullaimella nippiin menevä rainajännitys on pienempi kuin rainajännitys ennen rullaussylinteriä kehävetoisilla kiinnirullaimilla. Pfeiffer, Frye ja Good (6) ovat luoneet todelliselle nipin jälkeiselle rullausjännitykselle erilaiset kaavat selittämään jännitystä. Good (6) muodosti yksinkertaisimman yhtäläisyyden WIT:lle (= Wound-In-Tension:lle) luistotapauksessa keskiövedottomalle rullaimelle:

$$WIT = T + \frac{u_d N}{c} \quad (10)$$

Keskiömomentilla on myös vaikutusta rullausjännitykseen. Sen laskennallista vaikutusta ei tunneta vielä. Roisum (6) on todennut, että kiinnirullaimessa keskiömomentilla on rullausjännitystä lisäävä ominaisuus rullaussuuntaisella momentilla ja vastaisella momentilla vähentävä ominaisuus.

4 RULLAN RAKENNE

4.1 Rullan rakenteen mallintaminen

Ensimmäiset rullan rakenteen mallit ovat peräisin 50-luvulta, jolloin magneettisia nauhoja valmistava teollisuus pyrki pyörittämään nauhakeloja vakiokireydellä huojunnan minimoimiseksi. Tämän jälkeen ovat mallit kehittyneet, mutta samalla vaikeutuneet. Periaatteessa tärkeimmät mallit on mainittu taulukossa 1.

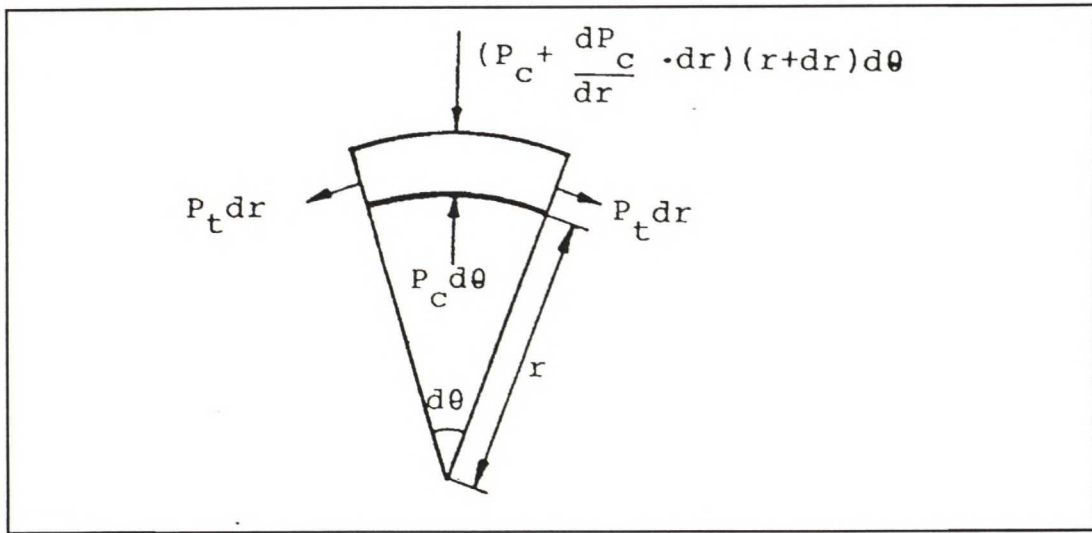
Taulukko 1 . Rullan rakenteen mallintaminen

Lineaarinen isotrooppinen	1959	Guttermann
	1962	Catlow ja Walls
Lineaarinen anisotrooppinen	1968	Altmann
	1980	Yagoda
Epälineaarinen anisotrooppinen	1986	Hakiel
Anisotrooppinen jännitys-venymä	1967	Tramposch
	1989	Lin ja Westmann
Kolmidimensioinen malli	1991	Hakiel

Guttermannin malli oli ensimmäisiä matemaattisia malleja rullan rakenteen kannalta. Siinä oletettiin, että materiaalin ominaisuudet olivat kaikkiin suuntiin samanlaiset (isotrooppiset) sekä, että kimmokerroin käyttäytyi lineaarisesti. Seuraavassa vaiheessa ymmärrettiin, että paperin kimmokertoimet ovat erilaiset eri suunnissa (21). Vasta 80-luvun puolivälissä luotiin malli, joka noudatteli paperin käyttäytymistä Maxwellin teorian (39) mukaan eli huomioitiin, että paperin kimmokerroin muuttuu epälineaarisesti (6).

Lisäksi on luotu useita teorioita erityisten rullauskäyttäytymisten mukaan, kuten esim. jännitys-venymäkäyttäytymisen ja ilman vaikutuksen huomioiminen rullaukseen (6). Käytännössä nämä edellä mainitut mallit ovat kaikki kaksidimensioisia malleja. Vasta 90-luvulla on pystytty mallintamaan ensimmäinen kolmedimensioinen rullausmalli. Roisum (6) totesi väitöskirjassaan, että malleista on tullut niin vaikeita, että niiden käyttäjät ovat hyödyntäneet niitä erittäin usein väärin.

Paperin rullauksessa on olennainen piirre, että venyvää paperirainaa rullataan kokoonpuristuvan (jo rullatun rainan) sydänosan ympärille (4). Tässä tapauksessa rullaan syntyy pääasiassa säteen ja tangentin suuntaisia jännityksiä. Näiden jännitysten vuorovaikutusta voidaan kuvata parhaiten lujuusopin perusmallilla, jossa tarkastellaan voimatasapainoa erittäin pienessä rullan alkiossa .



Kuva 13. Voimatasapaino erittäin pienessä rullan alkiossa (20).

Kun $d\theta \Rightarrow 0$ ja $dr \ll r$, saadaan (9):

$$P_c + P_t + \frac{dP_c}{dr} \cdot r = 0 \quad (11)$$

Mallin mukaan paperin kimmokertoimen ollessa konesuunnassa suuri, heikkenee rainan venymä nopeasti, jolloin kireä kerros rullan pinnalla ohenee. Vastaavasti säteen suuntaisen kimmokertoimen ollessa pieni saavutetaan samanlainen tulos. Tämän perusteella tavoitteena on ideaalitilanteessa kadottaa mahdollisimman nopeasti paperirainan jännitys rullan sisällä, jotta puristuspaine voitaisiin minimoida. Puristuspaine tämän teorian mukaan muodostuisi lähinnä rainajännityksestä. Paperin neliömassalla ei ole vaikutusta asiaan.

Altmann on muodostanut tutkimuksissaan säteen ja tangentin suuntaisille jännityksille lineaarisessa anisotrooppisessa mallissa kaavan 11 ja seuraavanlaisten kaavojen avulla mallin rullan rakenteelle (21,22):

$$P_t = \left(\frac{T}{c}\right) \left(\frac{1}{\Omega} - \Omega\right) \left[\Omega \left(\frac{R}{R_2}\right) \Omega^{-1} - 1\right] \quad (12)$$

$$P_r = \left(\frac{T}{c}\right) \left(\frac{1}{\Omega} - \Omega\right) \left[1 - \left(\frac{R}{R_2}\right) \Omega^{-1}\right] \quad (13)$$

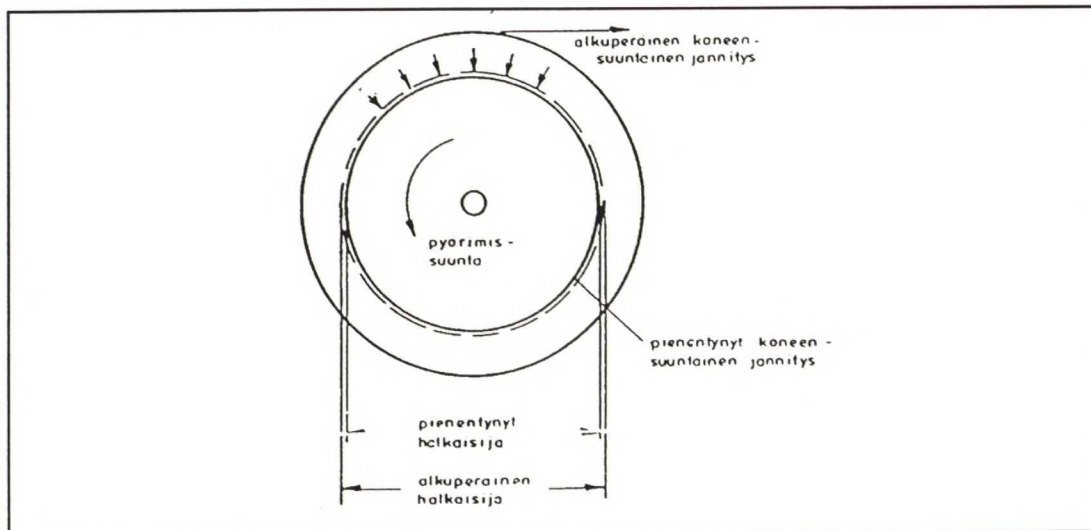
$$\Omega_2 = \frac{E_t}{E_r} \quad (14)$$

$$r = \frac{R}{r_0} \quad (15)$$

Altmannin esittämän teorian mukaan paperin kimmokertoimilla on varsin suuri merkitys rullan jännitysjakautumiin (6). Teoriaa ei kuitenkaan voida soveltaa aivan koko rullauksen ajalle, sillä tampuuritelan ominaisuudet poikkeavat paperin ominaisuuksista konerullan pohjalla ja aiheuttavat eräänlaisen epäjatkuvuuskohdan rullan pohjalle.

Jokainen uusi paperikerros konerullassa lisää rullan säteen suuntaista puristuspainetta

ja aiheuttaa rullan alempien kerrosten kokoonpuristumisen. Kun paperikerros rullauksen jatkuessa joutuu rullan sisempiin osiin, sen venymä pienenee. Riittävän syvällä rullassa ideaalitapauksessa paperirainaan ei kohdistu yhtään todellista tangentialista vetojännitystä, vaan ainoastaan puristusta (6).



Kuva 14. Paperirainan konesuuntainen vetojännityksen pienentyminen konerullan paperikerrosten joutuessa uusien päälle tulevien kerrosten puristukseen (4).

Yagoda jatkoi Altmannin teoreettista tarkastelua ja muodosti käytännön kokeiden avulla oman lineaarisen anisotrooppisen mallin. Käytännössä hän ei keksinyt mitään uutta. Hän vain esitti asian kokeellisten metodien avulla (6).

Edellä esitetyt kaavat olettavat materiaalin ominaisuudet vakioiksi. Käytännössä näin ei kuitenkaan ole, vaan mm. lämmön ja kosteuden vaihtelut ajan suhteen vaikuttavat paperin kimmokertoimeen.

Hakielin (6) malli ottaa edellä esitetyt vaihtelut huomioon. Mallissa E_t ja E_r muuttuvat

tangentiaalisen ja radiaalisen jännityksen funktiona joka kierroksen jälkeen:

$$E_x = \frac{d \sigma_x}{d \epsilon_x} \quad (16)$$

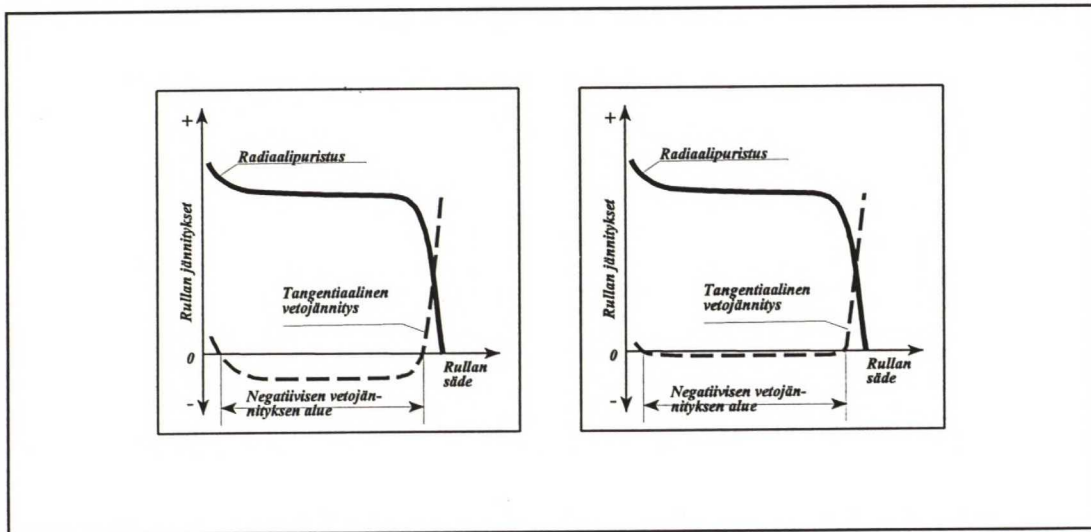
missä alaindeksi x vastaa tangentin tai säteen suuntaa.

Hakielin epälineaarisen mallin katsotaan olevan nykyisin lähimpänä rullan todellista rakennetta, mutta sekään ei ole täydellinen. Malli rakentaa ideaalirullan, joka ei kuitenkaan ota huomioon rullan sisällä vaikuttavia sisä- ja rullausnipin vastanippejä. Lisäksi se edellyttää rullan rakenteen laskemisen jokaiselle kierrokselle.

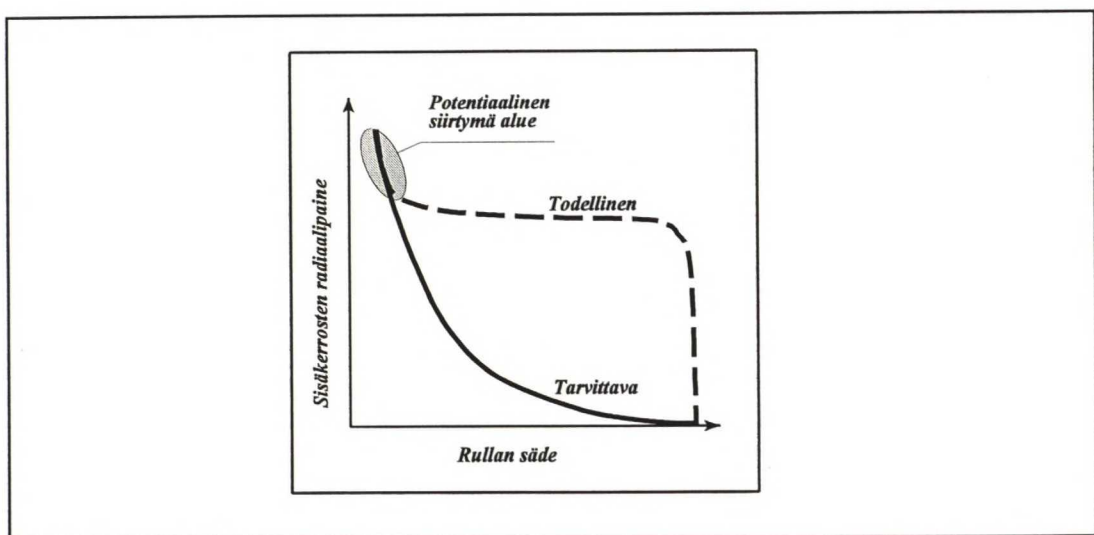
Vaikka malleja on rakennettu ja tutkittu hyvin paljon, vasta käytännön kokeiden kautta (23) on opittu hallitsemaan ja ymmärtämään se, mitä konerullan optimaaliselta jännitysjakaumalta on vaadittava, jotta onnistutaan rullauksessa:

1. Tampuuriraudan pinnassa pitää olla riittävän suuri radiaalijännitys, jotta rullaa voidaan käsitellä keskiökannatteisesti.
2. Kerrosten välisen radiaalijännityksen pitää olla tasainen tai laskeva tampuuritelalta ulkokehälle, jotta paperiin ei synny laskoksia tai muita rullausvikoja.
3. Tangentiaalijännityksen pitää olla mahdollisimman tasainen, jotta välttyään kireysvaihteluilta aukirullauksessa.
4. Konerullan pintaan tulevan suurimman tangentiaalijännityksen pitää olla pienempi kuin ko. paperin lepokitkan paperikerroksia paikallaan pitävä voima rullan nyrjähtämisen välttämiseksi.
5. Rainan poikkisuunnassa radiaali- ja tangentiaalijännityksen pitäisi pysyä optimaalisissa oloissa muuttumattomana.
6. Konerullan kerrosten välinen radiaalipaine täytyy olla suurempi kuin ko. paperin lepokitka, jolla on paperikerroksia paikallaan pitävä voima momenttivarren funktiona, jotta rullaa voidaan käsitellä keskiökäyttöisesti.

Kuvassa 15 on esitetty konerullan jännitysjaakauma, johon nykyisillä jatkuvatoimisilla kehävetoisilla kiinnirullaimilla parhaimmillaan voidaan päästä. Ongelmaksi muodostuu tangentiaalisen vetojännityksen häviäminen sisäkerroksista tai jopa rainan joutuminen tasosuuntaiseen puristukseen.



Kuva 15. Kehävetoisella (vasen) ja keskiövetoisella (oikea) kiinnirullaimella rullatun hyvälaatuisen konerullan tangentiaali- ja radiaalijännitysjaakaumat (24).



Kuva 16. Tarvittava ja todellinen puristusaine konerullan paperikerrosten välissä siirtymien estämiseksi (6).

Kuvassa 16 on esitetty teoreettinen kerroksien välinen puristuspaine siirtymien estämiseksi konerullan säteen funktiona. Käyrän mukaan mahdolliset siirtymäalueet rajoittuvat konerullan säteen alku- ja loppupäähän, mitkä ovat tunnetusti rullan pohja- ja pintahylkyalueita.

Rullauksen aikana paperikerrokset liikkuvat toistensa suhteen, jos paperikerrosten välinen kitkavoima on kyllin pieni. Alkuun päässyt konesuuntainen kerrosten siirtymä mahdollistaa myös poikkisuuntaisen siirtymän synnyn. Siirtymien syntymistä voidaan estää, jos voidaan muodostaa konerulla radiaalipuristuksen minimiarvoa suuremmalla arvolla. Tällaisen peruskaavan Roisum (6) esitti väitöskirjassaan. Kaavalla pystytään jonkinlaisella todennäköisyydellä arvioimaan riskiä mahdolliselle konerullan paperikerrosten liikkeille rullauksen aikana.

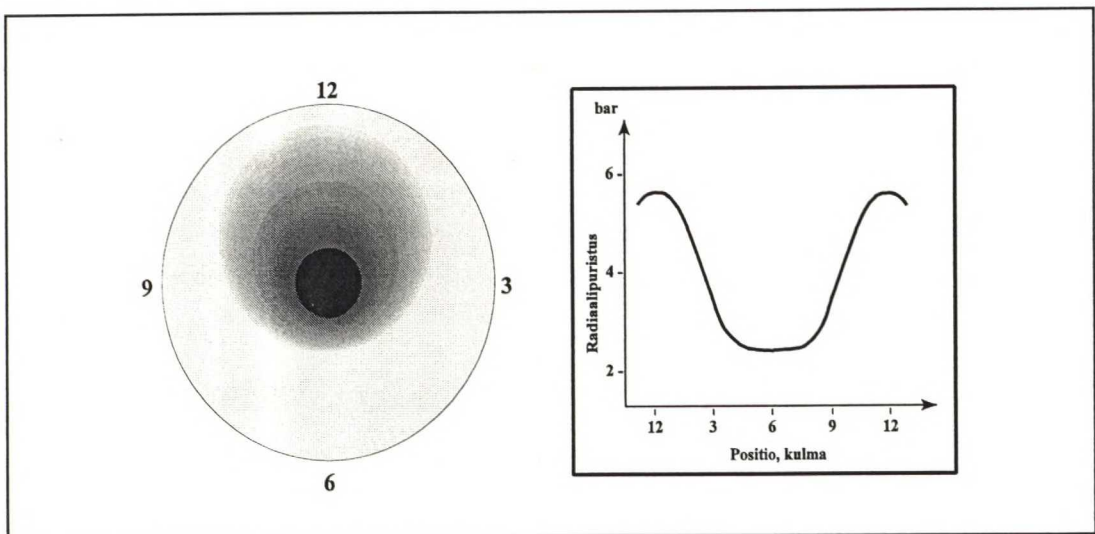
$$\sigma_r > f_s \frac{Tr_2 + \frac{l\alpha_d}{W}}{2\mu\pi r^2} \quad (17)$$

4.2 Rullauksessa tapahtuvat ilmiöt

Edellä kuvatun rullausnipin *vastanipin* (3. nippi, kuva 10) vaikutus riippuu suoraan rullausnipin kuormituksesta ollen suurin rullauksen alkuvaiheessa. Nippi toimii osittain rullausnipin tavoin, paitsi että rata seuraa toista telaa pitkin koko nipin läpi. Tässä tilanteessa rullaussylinterinä toimii tampuuritela. Paperi on vastaavasti kaareutunut rullaussylinterin päälle ja nipin leveys on huomattavasti suurempi. Tilanne on sama kuin jos rullaussylinteri vierii kuperalla alustalla olevan paperiarkkipinon yli. Paperipinossa olevat paperit liukuvat tällöin rullauksen etenemissuuntaan. Konerullassa tämä tarkoittaa tampuuriraudan pinnassa olevien paperikerrosten kiristymistä samalla tavalla kuin rullan pinnassa rullausnipin vaikutuksessa. Tämän perusteella rainalla olisi tangentiaalista vetoa pintaosan lisäksi myös rullan pohjalla tampuuritelalla. Yagoda (16) on esittänyt tällaisia käyriä, kun taas yleisesti on esitetty tangentiaalisen jännityksen olevan rullan pohjalla negatiivinen tai lähestyvän nollaa negatiivisesta suunnasta.

Vaikutukseltaan 2. nippi eli *sisänippi*, joka sijaitsee konerullassa tampusuuren yläpuolella, on edellisen nipin kaltainen. Sisänipin suuruuteen vaikuttaa eniten rullan halkaisija. Esimerkiksi noin kahden ja puolen metrin halkaisijan konerullalla sisänipin radiaalipaine painovoiman ansiosta saattaa nousta yli 5 kN/m (10).

Aukirullauksen aikana rullan rakenteeseen vaikuttaa edellä kuvattu sisänippi, joka aiheuttaa varsinkin aukirullauksen alussa rullan pohjan kiristymistä. Rullaa jarrutetaan tampusuurenraudasta rainan kireyden aikaansaamiseksi, mikä aiheuttaa konerullan sisäisen momentin vuoksi liukumista rullan pohjalla olevissa löystyneissä kerroksissa (16).

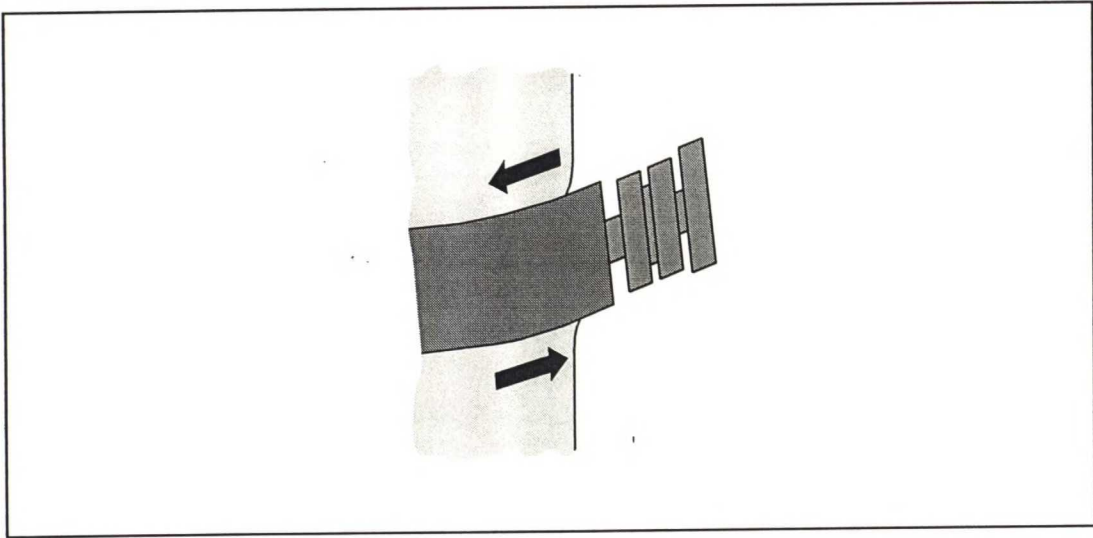


Kuva 17. Radiaalipuristus konerullan päädyissä eri asemilla eri viivakuormilla (11).

Kun kaikki nämä nippien aiheuttamat voimat huomioidaan radiaalipaineessa, voidaan jonkinlainen radiaalipaineen esitys piirtää konerullan halkaisijan funktiona.

Raudan taipuma aiheuttaa konerullan pyöriessä rullan päissä edestakaista *akσιαalisuuntaista liikettä*. Erityisesti raudan alapuolella liike tapahtuu herkästi, koska paperikerrosten radiaalipuristusaine on silloin pienin. Aksiaalisuuntainen liike on tyypillisintä vanhemmilla paperi- ja kartonkikoneilla, joilla tampusuurenraudat ovat selvästi

taipuisemmat kuin uusissa Optireel-kiinnirullaimissa (11).



Kuva 18 . Konerullan pohjakerrosten aksiaalisuuntainen liike (11).

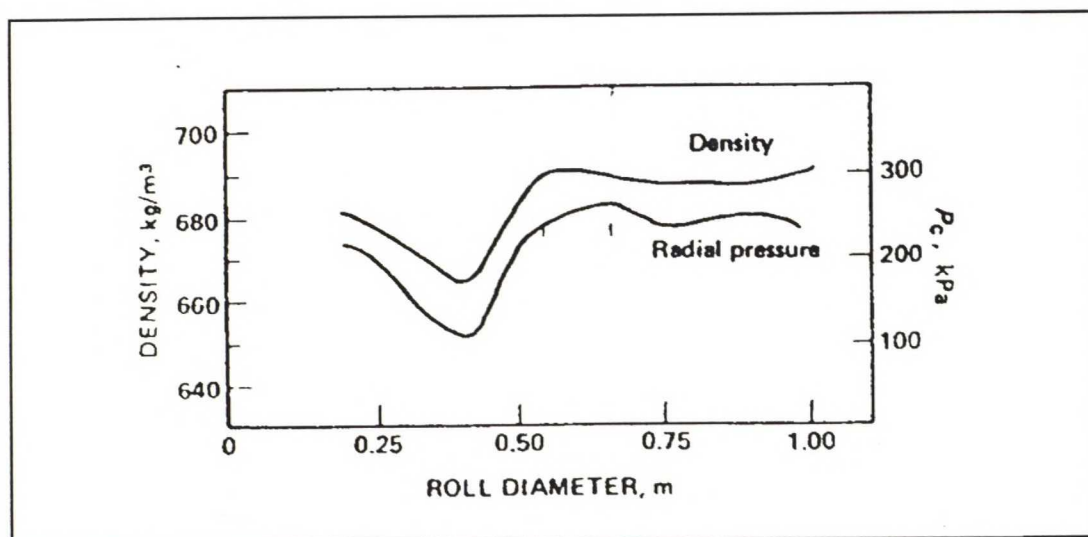
Sisänpin ansiosta rullan yhden kierroksen aikana radiaalipuristus on maksimissaan kello 12 asennossa, jolloin rullassa olevat paperikerrokset puristuvat kokoon ja pyörimissäde ja samalla tangentialinen nopeus pienenevät. Vastaavasti paperikerrosten "roikkuminen" sisä- ja rullauspinnan vastanipin ansiosta tampuuriraudan alapuolella kasvattaa piirin etäisyyttä rullausskeskikohdasta ja samalla tangentialista nopeutta (11). Konerulla toimii ns. *planeettavaihteisto-ilmion* omaisesti.

Tangentialisten rullaussjännitysvaihtelujen takia löysemmät paperikerrokset pyrkivät kulkemaan suuremman säteen piiriä pitkin kuin mitä ne tasaisen ratajännityksen alaisuudessa olisivat rullautuneet. Tämä aiheuttaa kireämpien kerroksien pyrkimistä kiertymään edelle, koska kerrokset eivät roiku vaan kulkevat pienempää sädettä samalla tangentialisella nopeudella.

Jos koko rulla on alunperin tehty hyvin löysäksi, tapahtuu rullassa koko leveydeltä sisäosan kiertymistä rullan pintaosan edelle. Tämä voidaan todeta J-linjamittauksella, jolloin koko pohja-alue kiertyy hyvin tasaisesti pintakerrosten edelle rullaussuunnassa

(11). Roisum esitti (6) tekemiensä kokeiden perusteella, että huokoisilla papereilla on taipumuksena kiertyä rullauksen aikana pohjalta kireämmälle ja kovemmilla, päällystetyillä lajeilla ilmiö tapahtuu löystymisen suuntaan.

Käsitteellä konerullan *tiheys* tarkoitetaan tiukasti vierekkäin puristuneiden paperikerrosten muodostaman paperitilavuuden massaa. Tämän perusteella tiheyden muutos on suoraan verrannollinen konerullan radiaalipuristusjakauman muutoksiin (kuva 19). Tästä on mittausteknillisesti hyötyä, koska konerullan tiheyden mittaaminen on helpompaa kuin radiaalisuuntaisen paineen mittaaminen.



Kuva 19. Rullan tiheys ja säteen suuntainen radiaalipaine pituusleikkurilla rullatulle asiakasrullalle (4).

Sisänpin suuruus korreloi voimakkaasti rullattavan konerullan paperirainan paperimassan ja rullan rakenteen sekä tampuuriraudan keskinäisten *jäyhyserojen* mukaan. Tiukkaan rullatun konerullan "paperimassa" taipuu huomattavasti tampuurirautaa vähemmän (9), jolloin rullattu "paperimassa" tukeutuu valtaosaltaan tampuuriraudan päihin, jopa kannattaen tampuuritelaa keskialueelta.

Valmetin tekemien kokeiden perusteella tyhjän tampuuriraudan taipuma saattaa esimerkkitapauksessa ilman kuormitusta olla noin 0.5 mm. Täyteen rullatun konerullan tampuuritelan taipuma keskialueelta on suuruusluokkaa 2.0-2.5 mm. Mittauksissa on todettu, että täysi konerulla jäykistää rullatun paperin ja tampuuriraudan muodostamaa kokonaisuutta. Laskennallisesti osoitettiin että, jos rullatulla paperilla ei olisi jäykistävää ominaisuutta, täyteen rullatun konerullan tampuurirauta taipuisi n. 0.3-0.6 mm enemmän kuin mitatut arvot osoittavat (9).

Konerullan sisänpin kuormitusten pitäminen riittävän alhaisena on edellytys pohjahylyttömälle rullaukselle (6). Löysän konerullan jäyhyys pienenee, jolloin rullattu paperimassa myötäilee paremmin tampuuriraudan taipumia. Näin ollen reuna- ja keskialueiden väliset ydinnipin kuormituserot tasoittuvat.

Tampuuriraudan halkaisijan suurentaminen kasvattaa nopeasti raudan jäyhyyttä pienentäen tampuuriraudan taipumaa täyden kuormituksen alaisena ja siten tasoittaa keski- ja reuna-alueiden kuormituseroja. Lisäksi raudan vaipan pinta-ala kasvaa "paperimassan" kuormituksen pysyessä vakiona, mikä aiheuttaa sisänpin pintapaineen alenemiseen (9).

5 PAPERIN RAKENNE JA OMINAISUUDET

Paperi on useilta fyysikaalisilta ominaisuuksiltaan poikkeava muihin materiaaleihin verrattuna. Tämä ominaisuus johtuu lähinnä yksittäisten kuitujen ominaisuuksista ja niiden verkostorakenteesta eli paperin kuitujen formaatiosta, orientaatiosta sekä eri raaka-ainekomponenttien z-suuntaisesta jakaumasta. Lisäksi paperin bulkkinen rakenne vaikuttaa asiaan. Huokoisuuden yksikäsitteinen kuvaaminen on mahdotonta. Näin ollen fyysikaaliset ominaisuudet voivat vaihdella suuresti eri paperilajeilla.

Papereille voidaan luoda fysiikan perusteiden mukaan tiettyjä käyttäytymismalleja. Kaikkia paperin käyttäytymismalleja ei ole pystytty vielä selvittämään ja sen takia niiden mittaamiseksi ja ymmärtämiseksi on jouduttu kehittämään tiettyjä standardeja.

5.1 Paperin xy-tason suuntainen kimmokerroin

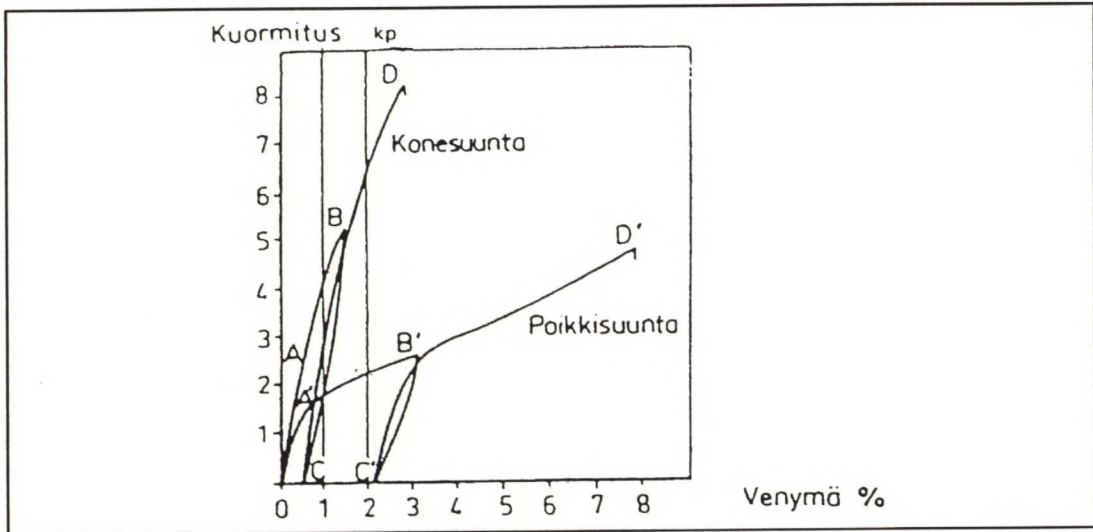
Rullauksessa paperirainaan kohdistuu rasituksia kaikkien dimensioiden suuntiin: kone-, poikki- ja paksuussuuntaan. Rullauskäyttäytymisen osalta on varsin tärkeää ymmärtää paperin kone- ja poikkisuunnan kimmo-ominaisuuksia. Lisäksi z-suuntaisella kimmokertoimella on vaikutusta edellisten kimmo-ominaisuuksien käyttäytymiseen. Taivutusjäykkyuden osalta voi kone- ja poikkisuuntaisista ominaisuuksista löytyä kulma, jolla ko. arvo on pienin (24).

Kimmo-ominaisuuksissa esiintyvät erot johtuvat paperin epätasaisesta neliömassasta, kosteuspitoisuudesta ja paksuudesta sekä rainan vetojännitysten vaihteluista puristus- ja kuivatusosalla. Rainan rakennetta kuvataan usein satunnaisena verkstorakenteena.

Jos muodonmuutos on suoraan verrannollinen jännitykseen, noudattaa aine Hooken lakia:

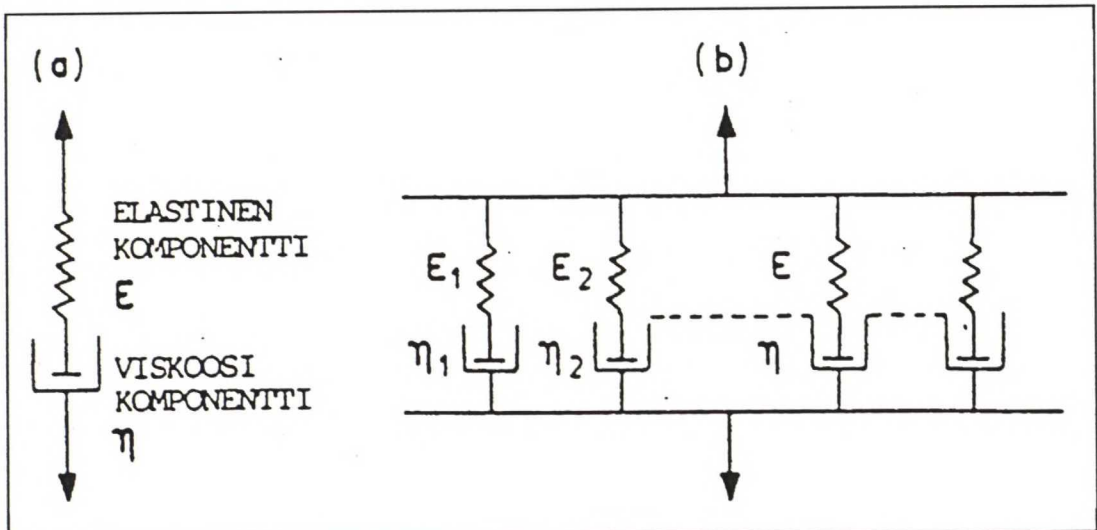
$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (18)$$

Monet aineet, kuten paperi, seuraavat Hooken lakia ainoastaan hyvin pienillä jännityksillä. Kuvassa (20) on esitetty tyypillisiä paperin kuormitus-venymäkäyriä kone- ja poikkisuunnassa.



Kuva 20. Paperin kuormitus-venymäkäyriä (3)

Yleisimmin on tunnustettu paperin käyttäytyvän Maxwellin mallin mukaisesti, joka koostuu sarjaan kytketyistä viskoosivaimennetuista ja kimmoelementeistä. Mallissa on rinnan kytkettyinä elementteinä e.m. komponenttiparit (24).

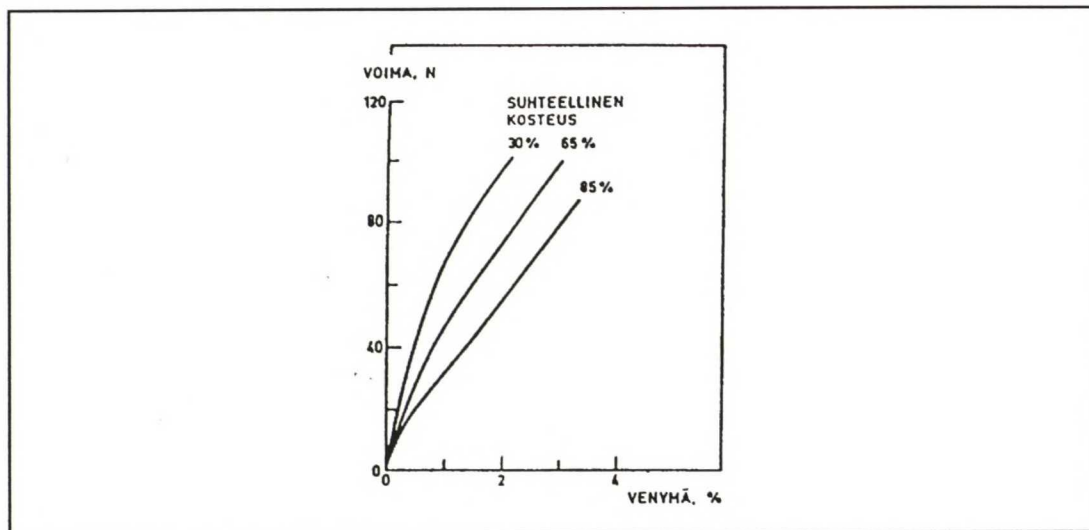


Kuva 21. Maxwellin malli (a) ja rinnan kytketyistä elementeistä muodostettu Maxwellin malli (b) (24).

Lisäksi paperirainan käyttäytyminen jännityksen aikana voidaan jakaa kahteen komponenttiin: viskoelastiseen ja plastiseen ominaisuuteen. Paperin elastiset ominaisuudet on otettava huomioon, kun tarkastellaan ajasta riippuvia ilmiöitä, kuten ratajännitysvaihteluja. Plastisuudella (menetetty venymä) on taas merkitystä lähinnä suurten paikallisten jännitysten tapauksissa, jollaisia syntyy esimerkiksi radassa olevien heikkojen kohtien ympäristöön. Kuva 22 osoittaa myös, ettei venymä ole aina täysin palautuva. Pysyvä venymä on riippuvainen ajasta, jonka paperi on jännityksen alaisena (24).

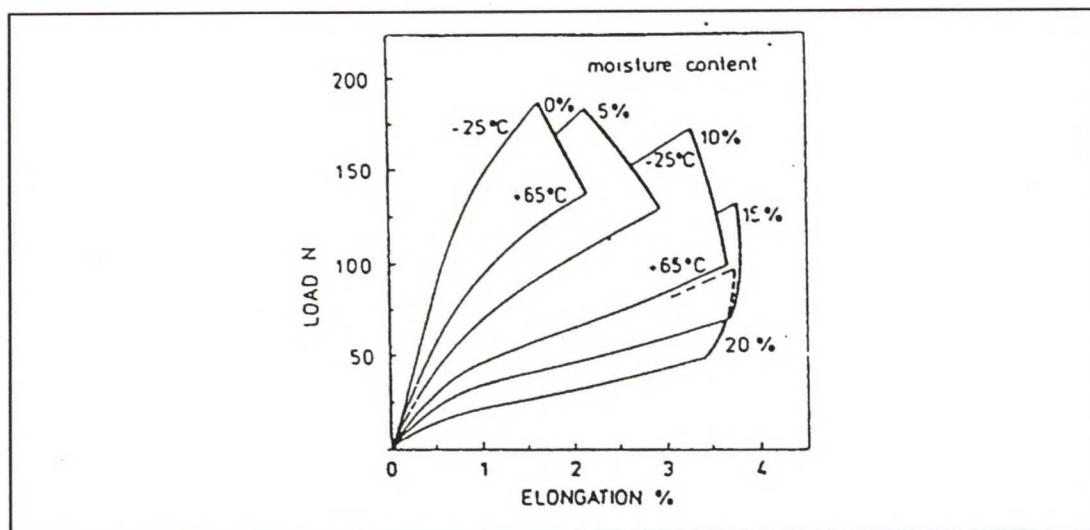
Jokaisen paperin konesuuntaisen venytyksen yhteydessä menetetään osa paperin venymäpotentiaalista. Paperia painettaessa koko murtovenymä on tarpeen, jotta välttyttäisiin ylimääräisiltä rainan katkoilta. Ajettavuuden kannalta on välttämätöntä edellyttää paperilta tietty minimilujuus, joka on selvästi painokoneessa esiintyviä mekaanisia rasituksia suurempi. Käytännössä paperin satunnaisten rakenteen takia ei koskaan päästä vakiosuuruiseen ratajännitykseen. Tämän takia on todettu, että on parempi seurata paperin poikkisuunnassa konesuuntaista vetolujuusjakaumaa ja varsinkin sen alimpia arvoja. Lisäksi on todettu poikkisuuntaisen repäisylujuuden ja puhkaisulujuuden paljastavan rainan venymäpotentiaalin menetyksiä (24).

Paperin kosteuden kasvaessa kimmokerroin pienenee ja plastisen venymän osuus elastiseen venymään nähden kasvaa (kuva 22). Samalla rainan konesuuntaisella vetojännitystasolla kosteampaan paperiin aiheutuu suurempi pysyvä venymä, joka taas vaikeuttaa paperin jatkojalostusta, koska paperilla ei ole kykyä joustaa ja absorboida kireyspiikkejä. Paperirainan kosteustason lisäksi myös kosteuden jakautuminen rainan poikkisuunnassa vaikuttaa konerullan laatuun (3).



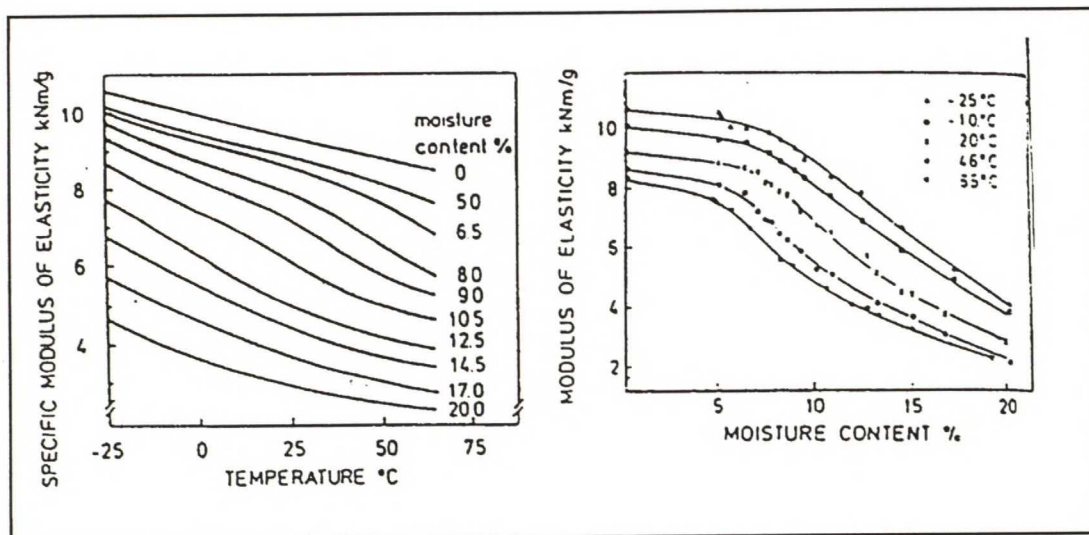
Kuva 22. Kosteuden vaikutus paperin jännitys-venymäkäyrään (3).

Lämpötilan noustessa paperi reagoi herkemmin ulkoisiin kuormituksiin ja samalla se palautuu nopeammin tasapainotilaansa. Lämpötilan ja kosteuden yhteisvaikutus reologisiin ominaisuuksiin nähdään havainnollisesti kuvan 23 jännitys-venymä-käyristä.



Kuva 23. Lämpötilan ja kosteuden yhteisvaikutus paperin jännitys-venymä-käyriin (24).

Kuvassa (24) nähdään vielä erikseen kimmomodulin käyttäytyminen kosteuspitoisuuden ja lämpötilan funktiona, kun toinen näistä on vakio.



Kuva 24. Kosteuden ja lämpötilan vaikutus paperin kimmokertoimeen (24).

5.2 Paperin z-suuntainen kimmokerroin

Yksittäisen paperiarkin tai paperipinon paksuuden määrittämiseen vaikuttaa monia tekijöitä. Esimerkiksi yksittäisten paperien paksuudet kerrottuna päällekkäisten paperien määrällä ei korreloi pinopaksuuden kanssa. Jäykemmän rakenteen omaavilla materiaaleilla pinopaksuus on suhteellisesti yksittäisiin arkkeihin verrattuna suurempi. Vastaavasti jäykällä ja karheilla paperilaaduilla on pinopaksuus pienempi. Paksuussuuntaiseen kokoonpuristuvuuteen vaikuttaa myös paperin pintakerroksen ominaisuuksien lisäksi sen rakenteen bulkkisuus (24).

5.3 Paperin suppeumakerroin

Poissonin luku määritetään vedossa kohtisuoraan vetojännitystä tapahtuneen suppeuman ja jännityssuunnassa tapahtuneen venymän suhteena, sekä paineessa kohtisuoraan painetta tapahtuneen venymän ja paineen suunnassa tapahtuneen

puristuman suhteena (3).

$$v = \frac{\epsilon_p}{\epsilon}$$

(19)

Rullaustapahtumassa konesuuntaisella venymällä ja paksuussuuntaisella puristumalla on suurin vaikutus rullanmuodostumisessa. Suhteen arvoon vaikuttavat ensisijaisesti paperin bulkkisuus ja käytetyt raaka-aineet. Altmann (6) on arvioinut arvon olevan kaikilla paperilajeilla alle 0.01 rullattaessa normaaleilla rullauspaineilla.

5.4 Paperin ominaisuuksien vaikutus rullaukseen

Paperin perusominaisuuksilla on vaikutusta rullauksessa ilmentyviin vikoihin. Lähinnä paksuuden profiilivirheillä ja konerullaan vaikuttavilla nipeillä vaikutuksella on Komulaisen (7) mukaan suurin vaikutus rullautumiskäyttäytymiseen. Profiilivirheet vaikuttavat rullan sisäisen radiaalipaineen muutoksiin sekä rullausnipin tasaiseen vaikutukseen rullauksen aikana. Taulukkoon 2 on koottuna rullaukseen vaikuttavia paperin perusominaisuuksia sekä tekijöitä, mitkä vaikuttavat rullautumiseen.

Taulukko 2. Rullaukseen vaikuttavat paperin ominaisuudet (7).

Paksuus	Profiilivirheet, rullausnipin vaikutuskierrot
Kokoonpuristuvuus	Nippivaikutus, profiilivirheet, kovuustaso
Pituus	Profiilivirheet, rynkyt, leikkausvaikeudet
Venyvyys	Rullausnipin vaikutus, kovuustaso, katkoherkkyys, levitys
Ilmanläpäisy	Sivuheitot, teleskooppisuus, ilmarynkyt, kitka
Kitka	Kovuustaso, tärinä, epäpyöreys, levitys
Tiheys	Rullan paino, rullausnipin vaikutus
Jäykkyys	Rynkyt, levitys

Muut ominaisuudet kuten neliömassa, kosteus ja orientaatio vaikuttavat em. ominaisuuksien kautta.

6 RULLAUSVIAT

Rullaushylyn syntymiseen vaikuttavia syitä on monia. Normaalisti esille tulleet hylyn muodostumisyyt ovat lähinnä rullausnipissä konerullaan joutuvaan ilman ja erilaisten rullauksessa esiintyvien epäjatkuvuuksien aiheuttamia ongelmia. Konerullien koko on viime vuosina suurentunut joko asiakasrullien koon kasvamisen myötä pituusleikkurilla konerullasta leikattavien muuttojen pysyessä lukumääräisesti samoina tai joissakin tapauksissa muuttojen lukumäärän lisäämistarpeen myötä. Muutos on edelleen vaikuttanut sisänipin vaikutuksen kasvamiseen rullan rakenteen muodostuksessa.

6.1 Rullaushylky

Pintahyllyllä tarkoitetaan konerullan pintakerrosten löysyydestä aiheutuvaa hylättävää paperia. Nämä kerrokset "lusataan" normaalisti pois valmiista konerullasta. Optireelissä ennen täyden konerullan ulosottoa ratakireyttä kasvatetaan seuraavan konerullan pohjan ratakireyden tasolle. Tällä ratakireysmuutoksella saavutetaan kaksi etua:

1. Seuraavan konerullan pohja voidaan rullata ohjelmoidun ratajännityskäyrän aloitusrainajännityslisäyksen alaisena, jotta saavutetaan ns. "kova" rullan rakenne.
2. Valmistuvan konerullan pintaan aiheutettu säteen suuntainen radiaalipuristus on hyvin pieni alhaisen rullausnipin viivakuormitusarvon takia. Rullan radiaalipuristus joudutaan muodostamaan tangentiaalisen jännityksen avulla. Valmiin konerullan siirtäminen kiinnirullaimen vaihtoasemaan ilman kunnollista nippituentaa aiheuttaa pinnan löystymistä. Rataa tuetaan konerullan alapuolella sijaitsevalla rainan poikkisuuntaisella painolaitteella.

Traditionaalisessa kiinnirullainta seuraavassa aukirullauksessa konerullan vaihdon yhteydessä jätetään tampuuriraudan päälle noin 30-45 mm "pohja" rainan katkeamisriskin takia, mikä johtuu kiinnirullauksen alkuvaiheiden epäjatkuvuuskohdista tai muista vioista traditionaalisella rullaimella. Tämä 30-45 mm pohja merkitsee noin 1500-2000 metrin tuotannon menetystä konerullaa kohden eli *pohjahylkyä*. Optireel-tyyppisellä rullaimella rullattu konerulla pystytään virheettömän pohjarullauksen ansiosta aukirullaamaan lähes tampuuriraudalle asti. Käytännössä raudalle jätetään vain 6-9 mm paperia saumausvaihdon takia, mikä vastaa noin 300-400 metriä paperirataa.

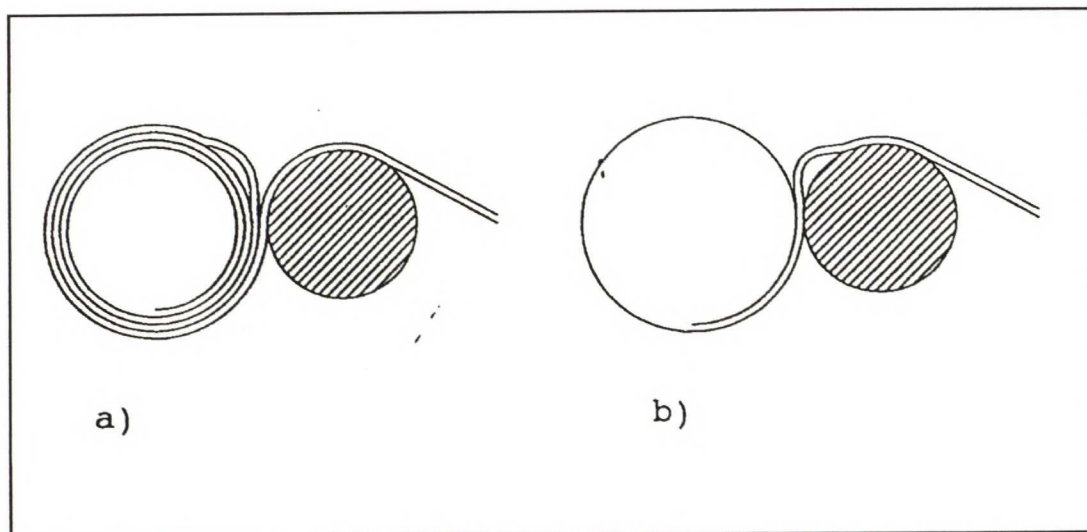
6.2 Rullausviat ja niiden mekanismit

Eri rullauselimien toiminnan yhteydessä syntyy mahdollisesti hetkellisiä ratajännitys- tai viivapainepeikkejä. Nämä *kuormituspiikit* aiheuttavat rainassa mahdollisesti jopa plastisia muodonmuutoksia ja sitä kautta heikkoja kohtia seuraavaan aukirullaukseen (10).

Poikkisuunnassa epätasaisen viivakuorman aiheuttamia vikoja on useita. Tyypillisimmät ovat joko epätasaisesta kuormituksesta tai poikkisuuntaisesta viivakuorman jakaumasta johtuvat epäedulliset konerullan viivapainekuormituksen viat. Profiloinnissa vaikuttavimpana tekijänä on konerullan oman massan vaikutus nipin viivakuormitukseen. Tavallisimmin nipin viivakuorma on alussa voimakkain konerullan reuna-alueilla. Riippuen rullauskulmasta ja viivakuormasta voidaan konerulla rakentaa väärin. Mekaanisten tai hydraulisten virheiden takia konerullaa saatetaan kuormittaa toispuoleisesti, mikä saattaa aiheuttaa "porkkanan" muotoisen konerullan syntymisen.

Konerullan kiinnirullauksen alkuvaiheessa käytetty suurempi viivapaine sekä ratajännitys aiheuttavat radan venymistä ja poikkisuuntaista *kutistumista*. Kutistuma voidaan hallita oikeansuuruisella paperirainan levityksellä ennen konerullausta. Muuttamalla sopivasti em. parametrejä päästään samaan lopputulokseen.

Ellei ilmaa hallita rullaussnipissä aiheuttaa *se ilmapussitusta* joko konerullan puolelle päällimmäisten paperikerrosten alle tai rullaussylinterin puolelle juuri ennen nippiä (8,9).



Kuva 25. Ilman aiheuttama pussitus a) päällimmäisten paperikerrosten alla konerullan pinnalla ja b) rullaussylinterillä (10).

Konerullan puolelle muodostuva ilmapussi pyrkii usein liikkumaan kohti konerullan reunoja, jolloin syntyy helposti rainan vekkaantumista eli ilmapussin ns. sortumisesta johtuvaa paperin laskostumista rypylle valmistuvan konerullan sisään.

Konerullan puolella esiintyvään ilmapussiin vaikuttavat (9):

1. paperin ilmanläpäisevyys
2. rullaussnipin tiiviys/kireys
3. reunojen sulkeminen (nippikuorma, tampuuriraudan taipumat, paperin paksuusprofiili, kireysprofiili ja rataleveys)
4. ajonopeus
5. rullaussylinterin uritus

Paperiradan ja rullaussylinterin väliseen ilmapussitukseen voidaan parhaiten vaikuttaa rullaussylinterin urituksilla sekä ratakireydellä.

Sivuttaissiirtymä on rullan tietyn osan kohdalla tapahtuva rainan siirtyminen paperikoneen poikkisuunnassa. Yleisimmin tällaisia siirtymiä tapahtuu traditionaalisen rullaimen ensiöhaarukan liikkeiden aikana (14).

Pohjasiirtymä on rullan pohjalla oleva kaventuneesta radasta johtuva rengasmainen pykälä. Pohjasiirtymä syntyy rullan pohjalle rullan kasvaessa äkillisenä tapahtumana ja samaan aikaan ko. rullan päästä saattaa kuulua kumea paukahdus. Rullan edelleen kasvaessa voi syntyä uusia pohjasiirtymiä tai aikaisemmat tulevat syvemmiksi aksiaalisuunnassa. Pohjasiirtymät näkyvät parhaiten reunaleikatuista rullista. Pohjasiirtymä syntyy konerullan pohjalle joko kiinni- tai aukirullauksen aikana, kun rullan massa on suurimmillaan. Pohjasiirtymä on esiaste "satiaille", kun aksiaalisuuntainen liike ei ole tarpeeksi suurta. Pohjasiirtymän voi myös olettaa aiheutuvan paperikerrosten välisestä rullaa kiristävästä liikkeestä (14).

Pohjasiirtymän lievä aksiaalisuuntainen liike aiheuttaa paperikerrosten hankautumista ja sen seurauksena paperin *kiillottumista*. Hankausliikkeen muoto riippuu paperikerrosten planeettavaihteisto-ilmiön (6,11) aiheuttamasta konesuuntaisesta ja aksiaalisuuntaisesta raudan taipumisesta johtuvasta liikkeestä.

Paperintekijän yleisin tuntema "*rullausrynkyn*" laji on "satiainen" eli poikkisuuntainen, konerullissa aina radan reunassa oleva teräväharjainen ryppy, jonka vieressä ovat kiiltävät alueet ristikkäin eri puolilla paperia. "Rynkyn" pituus on 0-1 metriä. Esiintymisalue on 1.5 metriin saakka reunoista. Ryppy voi hioutua harjastaan puhki, jolloin siitä seuraa lähes aina rainakatko seuraavassa aukirullauksessa.

"Rynkky" syntyy aina alle 45 asteen kulmaan poikkirataan nähden. Kulmaan voi vaikuttaa poikkisuuntainen pohjansiirtymä sekä ns. planeettavaihteisto-ilmiön

keskenäisten vaikutusten suuruudet (14).

Varsinaisia muita rullan muotovikoja on esimerkiksi rullan *epäpyöreys*. Tämäntapainen vika aiheutuu poikkisuuntaisista jännitysvaihteluista konerullissa, jotka aiheutuvat prosessivirheistä, profiileista tai epätasaisesta poikkisuuntaisesta nippikuormituksesta (26).

Rullan ulkomuodossa näkyvät tyypillisimmät viat ovat rullan päädyssä ilmenevät säteiden muotoinen kuvio ja keskellä "vanat" ja "patit". "Reunarisat" ovat pieniä virheitä, mutta hyvin usein erittäin harmillisia katkojen takia (26).

"Patit" ovat rullan ympäri kulkevia renkaita, jotka tuntuvat selvinä kohoutumina rullan pinnassa. Ne muodostuvat normaalisti epätasaisen poikkisuuntaisen paksuus- tai kosteusprofiilin takia. "Vanat" vastaavasti ovat suhteellisen tasalevyisiä nauhoja. Ne johtuvat liian tiukasta rullauksesta, jolloin rainan lujuusominaisuuksien takia muodostuu konerullan pinnalle konesuuntaisia vanoja. (26).

"Säteet" ovat rullan päädyssä näkyvä symmetrisen muotoinen tähtimäinen kuvio. Säteiden synnyn syynä on rullan tiukkuuden useat, äkillisinä toisiaan seuraavat tangenttin suuntaiset vaihtelut. Säteet indikoivat yleensä myös "satikan" ilmenemistä konerullassa.

Ns. "reunarisa" on rainan reunamurtuma, mikä jatkuu tavallisesti vain lyhyen matkaa reunasta. Risa aiheuttaa mahdollisen rainan taittumisen kaksinkerroin risan jälkeen aukirullaussuunnassa, jolloin rainan poikkirepeytyminen on todennäköinen. Reunarisa aiheutuu konerullassa useimmin joko liian paksusta tai liian ohuesta reunasta (26). Myös paperikoneen kuivatusosan kuivatushistorialla ja yhdistettynä alhaisella kuivatusryhmien vetoeroilla saadaan aikaiseksi löysät rainan reunat, joiden ilmentyminen kuivatusryhmien väliin edesauttaa "risojen" syntymistä. Lepattamisen yhteydessä reunat voivat taittua ja aiheuttaa reunamurtumia.

Komulaisen (7) esittämän taulukon 3 mukaan pituusleikkurilla paperin kitkalla ja paksuudella on suuri vaikutus paperissa ilmentyneisiin vikoihin. Komulaisen (7) esittämän jaottelun mukaan SC-paperi kuuluu ns. alhaisen kitkan ja paksuuden papereihin, joiden tyypillisin rullausvika on ns. "kreppirynekky".

Taulukko 3. Kitkan ja paksuuden vaikutus paperin rullauksessa syntyviin vikoihin sekä jaottelu paperilajeittain (7).

	Pieni kitka	Suuri kitka
Suuri paksuus	Ilma rullaan Teleskooppisuus Sivuttaissiirtymät Taidepainopaperit Tiivispaperi Release	Tärinä Epäkeskiset hylsy Kartongit Säkipaperi
Pieni paksuus	Kreppirynekky Talkkipit. painopaperit Kiiltävät painopaperit, Flotaatiosiistatut paperit	Murtumat Tärinä Rullien heiluminen Kaoliini- ja karbonaattipit. Painopaperit, Mattapaperit, Pesusiistatut, Sanomalehtipap.

7. KIRJALLISUUSTYÖN YHTEENVETO

Paperikoneen kiinnirullain on tärkeä osa paperikoneen toimivuutta. Rullaimen toiminnan tavoitteena on seuraavassa prosessivaiheessa eli aukirullauksessa virheettömästi aukirullautuvan konerullan muodostaminen ilman paperin laadun huonontumista tai rullaushylyn syntyä.

Optireel-tyyppisellä kiinnirullaimella rullan rakenne muodostetaan kolmen tai neljän ohjausparametrin avulla: ratajännityksellä, viivakuormalla, keskiömomentilla sekä mahdollisesti myös viivapaineen profiloinnilla. Näistä kahden ensimmäisen välille on löydetty teoreettinen yhteys rullautumisjännityksen suhteen. Keskiömomenttia ei ole vielä mallitettu ko. yhtälöön. Viivakuorman profilointi vaikuttaa sekä konerullan poikkisuuntaiseen viivakuormakäyttäytymiseen rullaussnipissä että rullausjännityksen poikkisuuntaisen jakauman tasaisuuteen.

Rullausteorioiden avulla on voitu mallintaa useita rullauksen muuttujia erikseen. Tarkin hyväksytty malli on epälineaarinen anisotrooppinen Hakielin malli. Hakieli on mallissaan pystynyt rakentamaan ideaalirullan kerros kerrokselta kaksidimensioisessa muodossa, mutta on jättänyt huomioimatta rullan sisällä vallitsevat nippivoimat sekä paperin kitkan vaikutuksen rullautumiseen. Lähinnä käytännön kokeiden kautta on löydetty teorialat ja säännöt konerullan rakenteen ymmärtämiseksi.

Paperin xy-suuntaisilla venymä- ja lujuusarvoilla, z-suuntaisella kokoonpuristuvuudella sekä paperin pinta- ja rakenneominaisuuksilla on suuri merkitys paperin rullautumiskäyttäytymiseen. Paperin kosteustason kasvaessa paperin kimmokerroin pienenee, jolloin plastisen venymän osuus elastiseen venymään nähden kasvaa. Samalla rainan konesuuntaisella vetojännitystasolla kosteampaan paperiin aiheutuu suurempi pysyvä venymä, joka taas vaikeuttaa paperin jatkojalostusta, koska paperilla ei ole kykyä joustaa ja absorboida kireyspiikkejä. Paperin z-suuntaiseen

kokoonpuristuvuuteen vaikuttavat paperin pintakerroksen muoto sekä sen rakenteen bulkkisuus. Suppeumakertoimien suhde paksuuden ja tason suunnassa on paperilla Altmannin (6) mukaan noin 0.01.

Rullauksen onnistumiseen vaikuttavat useat paperin ominaisuudet: z-suuntainen kokoonpuristuvuus ja paksuus, rullassa olevan paperirainan pituus, rainan venyvyys, ilmanläpäisykyky, paperin kitka, tiheys ja jäykkyys.

Tämän työn kohteena oli SC-pohjapaperi, joka kuuluu pienen paksuuden ja kitkan omaaviin papereihin, joiden yleisin rullausvika on "kreppirynekky". Reunoilla ilmenevät "reunarisat" ovat yleisimmin paperirainan poikkiprofiileista johtuvia vikoja (26).

KOKEELLINEN OSA

8 POHJAHYLKY SC-LINJALLA

8.1 Yleistä

Paperikoneen kiinnirullaimella valmistettujen konerullien ongelmana oli vaihteleva pohjahyllyn määrä. Työn tavoitteena oli selvittää, mistä aiheutuu pohjahyllyn suurempi määrä eri ajanhetkinä vakio rullausparametreilla.

Pohjahylky on yksi viidestä paperikonelinjan perushylkylajista. Muut hylkylajit ovat konerullien pintahylky, katkoista aiheutuva hylky, leveyshäviöt reunojen leikkaamisesta sekä asiakasrullahylky. Työn aikana ei huomioitu muita hylkylajeja.

8.2 Pohjahyllyn ilmeneminen

Normaaliolosuhteissa pohjahylkyä syntyy n. 400 metriä superkalanterien aukirullauksen lopussa, mikä on seurausta automaattisaumauksesta. Ajoittain esiintyy rullausongelmia, jolloin hyllyn määrä on 2000-3000 metriä, pahimmillaan jopa 8000 metriä. Kyseisissä tilanteissa ei rullausparametrien avulla kyetä vaikuttamaan tarpeeksi nopeasti hylkytasoon. Pohjahylky ilmenee useasti reuna-alueilla repeäminä tai taitoksina. Ilmiö esiintyi useimmiten rainan takareunalla.

Tehtaan kokemusten mukaan siirryttäessä lajista toiseen tehtaan mukaan SC-paperin kitkaominaisuuden vaikuttava osuus rullaustulokseen kasvoi ja rullausongelmat yleistyivät. Kitkaan vaikuttaa uuteaineiden määrä sekä tuhkapitoisuuden kasvu.

Ongelmatilanteen ilmentyessä muutoksia rullaimen ohjausparametreihin päästiin tekemään ensimmäisten pohjien ilmestyttyä superkalantereilla. Pahimmillaan pohjahylkyä muodostui jopa 1-2 viikkoa kestävinä ajanjaksoina. Ongelma poistui itsestään. Syytä tähän ilmiöön ei tiedetä. Ongelman aiheuttajaksi epäiltiin jotakin

prosessin tuntematonta muuttujaa, joka pystyttiin havaitsemaan vasta rullaimella.

Pohjahylystä johtuvat superkalanterien ratakatkot aiheuttivat usein paperitelojen vioittumisen. Huonoina aikoina n. 20-60 % konerullista katkesi konerullan pohjametreillä superkalanterien aukirullauksessa. Telahiomo pystyi käsittelemään noin kolmen katkon telat päivässä, mikäli ne viottuivat.

E.m. syiden vuoksi jätettiin tampuuriteloille paksummat pohjat varmuusmarginaaliksi superkalanterien aukirullauksen yhteydessä. Normaalina pohjana pidettiin tilannetta, jossa tampuuritelalle jäi 8 mm paperia vastaten noin 300-400 pituusmetriä. Ongelmatilanteissa rajaa nostettiin aluksi n. 13 mm:n eli 600 metriin.

Rullausparametrien viritys oli suoritettu vaikeimmin hallittavilla laajeilla, minkä jälkeen niitä on käytetty kaikille lajeille.

Työn teettämisen tarve konkretisoitui vuosien 1993-1994 aikana ilmenneistä pohjahylkyongelmista.

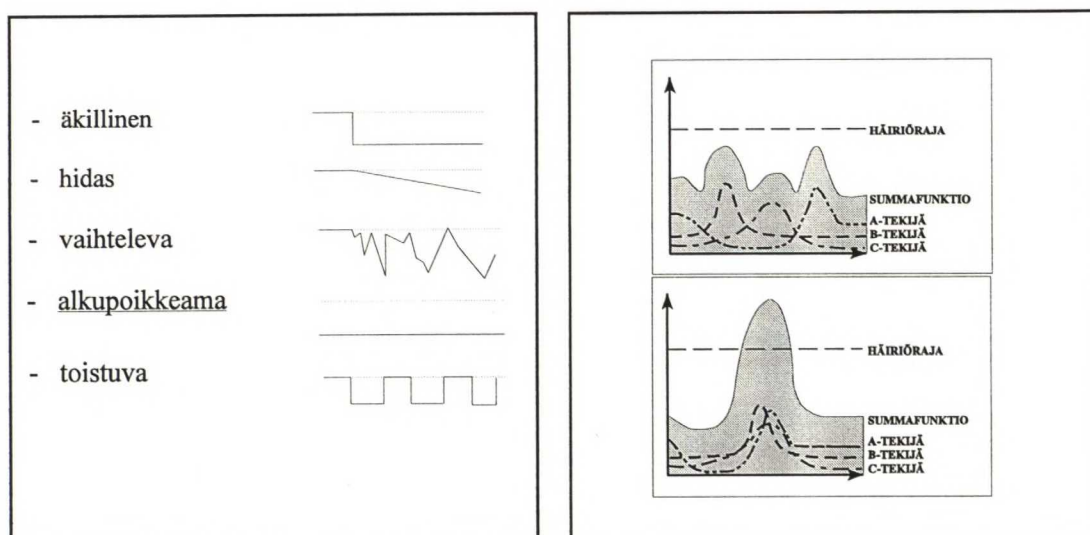
8.3 Työn lähtötilanne

Tehdas ei ole suorittanut aikaisemmin systemaattista tarkastelua ja tiedonkeruuta marginaaliparannuksen selvittämiseksi. Voimassa olevan käsityksen mukaan pohjan huononeminen, joka näkyy superkalanterilla kiiltävinä alueina paperirainassa, johtuu halkaisijan kasvamisen seurauksena syntyvästä ns. rullan sisänpistä. Konerulla olisi tämän perusteella tehtävä kovaksi korkean viivapaineen, keskiömomentin ja ratakireyden avulla tai liukuminen olisi hallittava tasaisesti läpi konerullan. Ongelmaksi jää reunojen ohuus, joka aiheuttaa kreppiryngkyä (26). Rullausrepeämät vastaavasti ilmenevät konerullan keskellä.

Paperinvalmistusprosessi on toisiinsa liittyvien ja toisistaan riippuvien tapahtumien

sarja, josta saadaan lopuksi haluttu tuote. Syväpainopaperikoneen pohjahylkytilanteessa voidaan puhua ns. alkupoikkeamasta eli pohjahylkyä on ilmentynyt aina jossain määrin paperikoneen käyntiinlähdistä alkaen (=alkupoikkeama). Työn suorittamista olisi helpottanut huomattavasti ilmiön sitominen tietyn ajanjakson ympärille, jolloin oltaisiin voitu verrata ennen ja jälkeen käännekohdan tapahtuneita arvoja.

Työn aloittamisen yhteydessä todettiin ongelman olevan tyypiltään sellainen, että on olemassa tiettyjä prosessin muuttujia ja niiden häiriösuureita, jotka normaalitilanteessa ovat limittäin. Tällöin pohjahylkyyn vaikuttavien osatekijöiden summa ei nouse tietyn riskitason yläpuolelle. Tietyn tuntemattoman tekijän takia nämä osatekijät asettuvat keskenään sopivasti, jolloin summa kasvaa ja ylittää riskitason, mikä aiheuttaa ongelmien ilmentymisen.



Kuva 26. (a) Erilaisten häiriöiden aiheuttamia poikkeamia ja (b) Pohjahylkyyn vaikuttavien osatekijöiden vaikutus summafunktiioon ja mahdollisen pohjahyllyn riskitason ylittämiseen hyvän (ylempi) ja huonon (alempi) pohjahylkytilanteen vallitessa.

9 AIKAISEMMAT TUTKIMUKSET

9.1 Yleistä

Pohjahylyn ilmentymisen suhteen on tehty aikaisemmin muutamia alustavia tutkimuksia, mutta minkäänlaista systemaattista tarkastelua tai tiedonkeruuta marginaaliongelman poistamiseksi ei ole toteutettu.

9.2 Yhtyneet Paperitehtaat Oy:n tekemät tutkimukset

Luomen (28) tekemissä *täyteainekokeissa* tutkittiin eri täyteainesuhteiden vaikutusta paperin kitkaominaisuuksiin. Kokeissa siirryttiin paperilajista toiseen ja päinvastoin normaalista poikkeavin tavoin sekä pyrittiin valmistamaan paperilajia 2 lajin 1 täyteainereseptillä.

Tulosten perusteella täyteaineella 2 oli taipumus pienentää kitka-arvoja ja vastaavasti täyteaineella 3 oli kitka-arvoja kasvattava ominaisuus. Lisäksi paperilajilla 2 oli suurempi lepo- ja liikekitkan ero.

Aallon (25) tekemän selvityksen mukaan SC-paperikoneella ongelmatilanteissa tapahtui lähinnä reuna-alueilla paksuus-, neliömassa-, venymä- ja vetolujuus^{profiilien} vaihteluja. Kosteusprofiilin taso nousi ennen ongelmaa 0.1-0.2 prosenttiyksikköä. Ilmanläpäisevyys oli ongelman aikana jopa suurempi kuin normaalitilanteessa. Konesuuntainen venymä ongelmatilanteissa oli päinvastainen kuin normaalitilanteissa eli venymäarvot olivat reuna-alueilla korkeammat kuin keskellä (25).

Ongelmatilanteessa havaittiin konesuunnassa voimakkaampia tuhkapitoisuuden vaihteluja, suurempaa hajontaa neliömassassa ja kosteudessa sekä vetolujuuden ja repäisylujuuden tason alenemista (25).

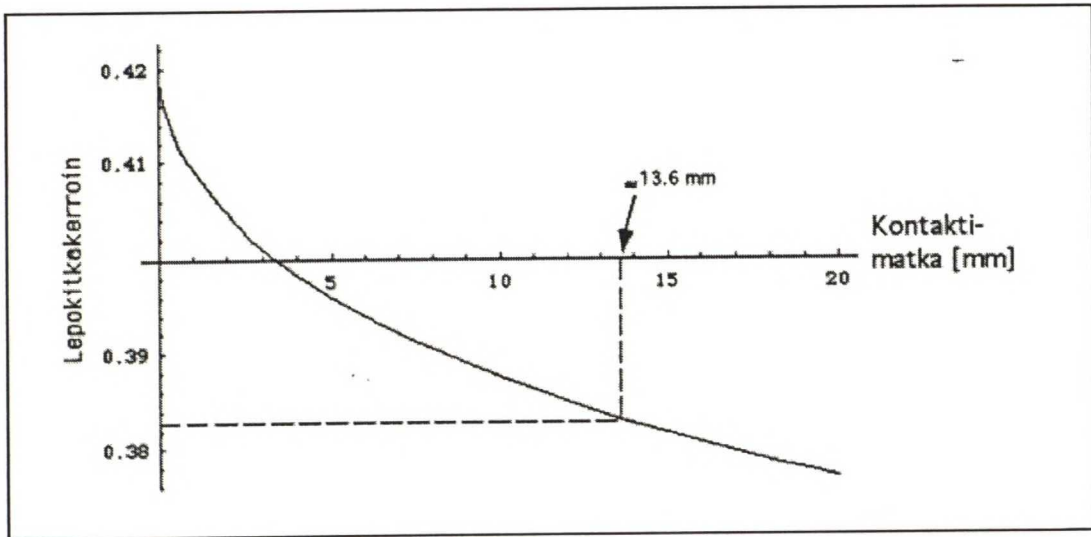
Kämpe (29) pyrki etsimään kunnossapitotiimin kanssa Aallon tekemän selvityksen sekä kerätyn tiedon perusteella syitä hetkellisen yksittäisen *pohjahyllyn esiintymiseen*. Ryhmän selvityksen mukaan rullausparametrit olivat vakiot, kireysmittaus toimi sekä linjaukset olivat kunnossa. Ainoasta saadusta poikkiratanäytteestä löytyi yksi repeämä, mikä oli syntynyt jo puristimella. Lopputulos oli se, ettei tutkimusten perusteella pystytty löytämään syytä toukokuussa 1994 ilmentyneeseen pohjahylkyongelmaan.

Lehtisalo (5) keskittyi *diplomityössään* lähinnä tarkastelemaan SC-paperin paperitekniisiä ominaisuuksia asiakasrullauksen kannalta. Vertailutietona hän käytti konerullasta otettujen raakapaperinäytteiden ominaisuuksia.

Massojen jauhatuksen sekä täyteaineiden määrän lisäykset pienensivät paperin bulkkia ja kokoonpuristuvuutta. Tämä aiheutti paperin kovuuden lisääntymisen, mikä Lehtisaloon mukaan vaikeutti rullaamista. Täyteaine 2 kasvatti varsinkin paperin lepokitkaa ongelmatilanteissa (4).

Paperilajille 2 lepo- ja liikekitkan erotuksen kasvu näytti olevan tärkein löydetty vaikutus ongelmatilanteissa. Erotuksen ollessa suuri (>0.05) oli todennäköistä, että muodostui ongelmia rullauksessa (5). Paperin liikekitkaan pystyttiin vaikuttamaan täyteainesuhteella lepokitkan pysyessä vakiona. Liikekitka vastaavasti korreloi bulkin kanssa (5).

Lepokitkaa seuraamalla voitiin tietylle lajille laskea sen kerroksien liikkeet epälineaarisella yhtälöllä lepokitkan muutoksen avulla. Lehtisalo (5) sovitti asiakasrullassa olevan SC-paperin peräkkäisten kitkamittausarvot kuvan 27 yhtälöön. Edellisen kuvan mukaan voitiin arvioida kitka-arvoissa tapahtuvien muutosten avulla



Kuva 27 . Lepokitkakertoimen muutos kitkallisen kontaktimatkan funktiona (5).

tapahtunutta kontaktimatkan muutosta millimetreinä eli paperikerrosten välisten luistojen pituutta. Liukuman avulla voitiin laskea säteen muutos "nolla" radiaalipaineeseen nähden ja sitä kautta suhteellinen paksuusmuutos. Saadun arvon avulla pystyttiin laskemaan paperin kokoonpuristuvuus ja radiaalijännitys konerullan pohjalla (5).

SC-pohjapaperi oli tutkimusten mukaan hyvin huokoinen tuote. Tämän takia SC-pohjapaperilla oli taipumuksena kiristyä konerullattaessa (6). Vastaavasti tiheet ja liukkaat lajit löystyivät. Lisäksi bulkin muutos korreloi liikekitkan kanssa (5).

Ongelmatilanteissa asiakasrulliin rullatun paperin bulkki pieneni noin 5 % normaalitilanteisiin nähden. Vastaavasti kokoonpuristuvuustermi (K_2) eli paperin kovuus kasvoi lähes samassa tilanteessa 40 %:a (5).

Paperin kosteuden pienentäminen pienensi sen K_2 -arvoa eli teki rainasta "pehmeämmän" ja samalla helpommin rullattavan. Korkeampi K_2 -arvo ja samanaikaisesti alhainen liikekitka aiheuttivat helposti rullausvikoja (5).

Kuten aikaisemmin todettiin SC- pohjapaperi on huokoinen tuote, jolloin se on hyvin ilmaa läpäisevää. Rainan ilmanläpäisemättömyydestä johtuva ilmapussitus ei ole ongelma SC-pohjapaperilla tällä linjalla.

Tulosten perusteella liian alhainen liikekitka ja kova paperi aiheuttivat "rynkkyy"- ongelmia. Vastaavasti pieni rainan konesuuntainen venyvyys ja kitkakertoimien suuri erotus aiheuttivat repeämiä.

9.3 Valmet Oy:n suorittamat tutkimukset ja mittaukset

Mikkonen (30) oli pyrkinyt *optimoimaan* rullausparametreja käyttäen periaatetta: "kova konerullan pohja ja löysä pinta". Seurantakokeiden perusteella paperilajilla 1 rullaus pitäisi suorittaa korkeammalla ratakireydellä ja keskiömomentin arvolla kuin mitä aikaisemmin on käytetty. Vastaavasti paperilajilla 2 pieni viivapaineen kasvattaminen ratakireyden lisäämisen kanssa vähensi pohjahylkyä.

Valmet Järvenpään mittapalvelu selvitti vuoden 1994 lopussa laitteen *sähkökäyttöjen värähtelyt* sekä suoritti rullausvaunujen osalta *nippivoimamittauksen*. Värähtelyt olivat suurimmillaan vaihdon jälkeen ja ne olivat lähinnä nipin suuntaisia (puristussuunta). Rullausvaunujen kuormitusmittauksessa todettiin hoitopuolen kuormitusarvojen olleen hieman pienemmät kuin käyttöpuolen (31,32).

Linnonmaa (33) teki heinäkuussa 1993 *selvityksen pohjahyllyn ilmentymisestä* paperikonelinjalla. Otokseen hän otti 363 konerullaa. Näistä n. 16 %:ssa ilmeni pohjahylkyä eli syntyi enemmän kuin 500 metriä pohjahylkyä konerullaa kohden. Konerullat käsiteltiin seuraavasti eri jatkojalostuslaitteissa.

Taulukko 5. SC-paperin käsittely eri pituusleikkureilla ja superkalantereilla (33).

	Kaikki konerullat	Viallisista käsitelty
Superkalanteri 1	33 %	55 %
Superkalanteri 2	35 %	45 %
Superkalanteri 3	32 %	31 %
Pituusleikkuri 1	48 %	36 %
Pituusleikkuri 2	52 %	33 %

Erot olivat käytännössä niin pienet, ettei voitu sanoa pohjahylkyperäisten konerullien kumuloituvan jollekin tietylle jatkokäsittelylaitteelle. Laitekohtaisen tiedon lisäksi pyrittiin selvittämään miten ongelma jakaantui eri paperilajeille.

Taulukko 5. Vian ilmeneminen eri paperilajeilla SC-syväpainopaperia valmistavalla paperikoneella.

Konerullat	SCh-laji	SCE-laji	SCj-laji	SCK-laji	SCm-laji
Kaikki	8 %	2 %	34 %	33 %	23 %
Vialliset/laji	17 %	2 %	40 %	35 %	9 %
Vialliset/kaikki	2.8 %	0.3 %	6.6 %	5.7 %	1.5 %

Tuloksiin täytyy suhtautua kriittisesti, sillä kaikista paperilajeista ei saatu kovinkaan suurta otantaa ko. ajanjaksolta.

Täyteaineen 2 osuuden kasvaessa kokonaistäyteainemäärästä oli havaittavissa ongelmia konerullaa rullattaessa. Ne konerullat, joiden täyteaine 2:n pitoisuus oli lajireseptien takia korkea olivat selvästi riskialttiimpia pohjahyllylle. Näitä konerullia oli n. 40 % otannasta ja vastaavasti 80 % pohjahyllystä ilmeni näissä konerullissa (33).

Paperin ominaisuuksien kannalta voitiin todeta konesuuntaisen venymän ja vetomurtotyön sekä poikkisuuntaisen venymän keskiarvojen olleen noin 6-8 % pienemmät konerullan pinnalla kuin pohjalla. 95-prosentin luottamusvälin laskemisen

jälkeen voitiin todeta hajonnan olleen niin suuri, että em. eroa ei voitu pitää luotettavana (33).

Linnonmaan tulosten perusteella ei voitu todistaa vian lähteeksi erityisesti tiettyä superkalanteria tai pituusleikkuria. Täyteaine 2:n lisäyksellä lisättiin pohjahylkyriskiä.

9.4 Yhteenveto ja johtopäätökset

Pohjahylyn muodostumisen selvittämiseksi on tehty monia yksittäisiä kokeita ja selvityksiä, jotka kuitenkin eivät ole antaneet sen syntymiselle selvää ratkaisua.

Selvitysten perusteella voidaan todeta täyteainevalinnalla, kitkoilla, paperin K_2 -arvolla sekä profiileilla olevan vaikutusta pohjahylyn syntyyn. Näitä virheitä voidaan korjata optimoimalla konerullan rakenne rullausparametrien avulla. Lisäksi pohjahylyn ilmentyminen ei ole minkään yksittäisen superkalanterin tai pituusleikkurin ongelma.

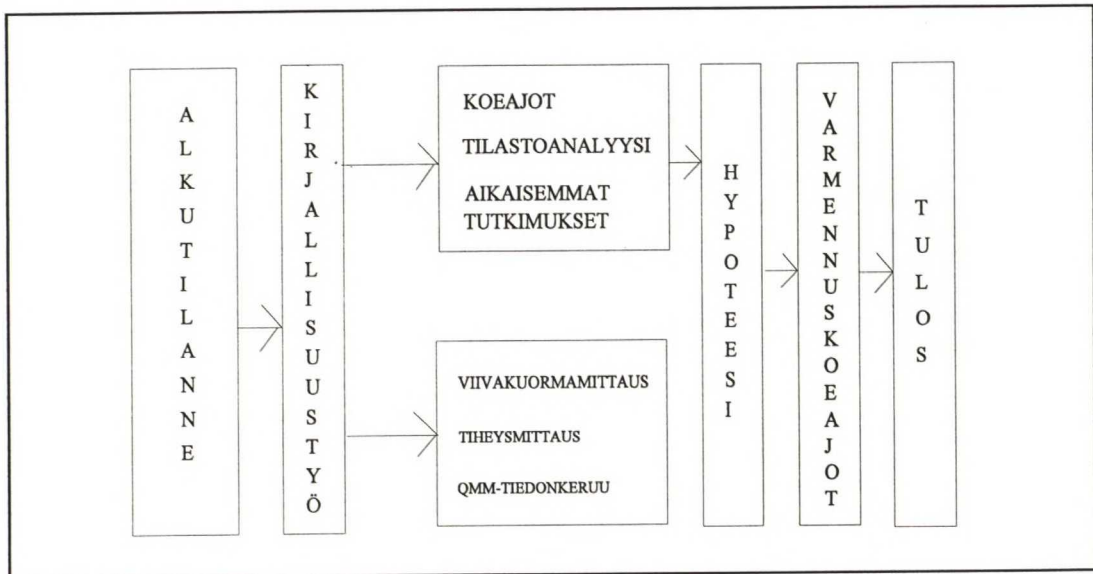
10. TUTKIMUSMENETELMÄT

10.1 Yleistä

Työn aikana käytettiin hyvin monta erilaista tutkimus- ja mittausmenetelmää. Karkeasti jaettuna nämä jakautuivat tilastollisiin, mekaanisiin ja tietokonepohjaisiin mittaus- sekä paperitekniisiin menetelmiin. Tässä kappaleessa esitellään hyvin lyhyesti käytetyt menetelmät, jotka johtivat lopputulokseen. Muista osa-alueista löytyy menetelmäkuvaukset ja toimintatavat liitteissä 2 ja 3.

Lähtötilanteen jälkeen ongelmaa lähdettiin selvittämään kuvan 28 mukaisesti. Selvitysten perusteella aikaisemmat tutkimukset, tilastollinen analyysi ja seurantakoeajoista saadut tiedot johtivat hypoteesin muodostamiseen. Muut tehdyt

kokeet, kuten esim. tiheys-, viivapaine ja rullaimen toiminnan mittaukset ovat esiteltyinä liitteissä 7-9.



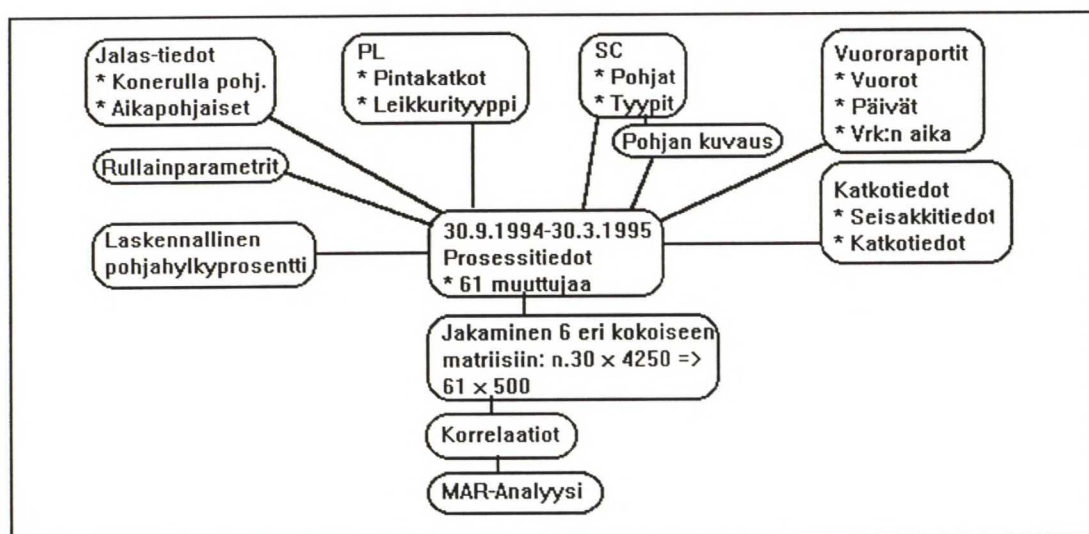
Kuva 28. Diplomityön aikana tehdyt kokeet sekä menetelmät, mitkä ovat johtaneet hypoteesin syntyyn.

10.2 Tilastoanalyysi

Tietojen keruu aloitettiin poimimalla tehdasjärjestelmän tietokannasta vuoden ajalta noin 30 konerullakohtaista sekä viisi aikapohjaista muuttujaa. Nämä arvot saatiin luettua sähköisesti taulukkolaskentaohjelmaan. Sähköisessä muodossa kerättyjen muuttujien jälkeen lisättiin loput muuttujat manuaalisesti taulukkoon. Ennen manuaalisen työn aloittamista, todettiin tehdasjärjestelmän tiedonkeruuseen tulleen osa halutuista muuttujista vasta kesän 1994 aikana, minkä johdosta lähes 30 %:sta sähköisessä muodossa haetuista muuttujista puuttui tiedot ajanjakson ensimmäisiltä viideltä kuukaudelta. Lisäksi suuren otosmäärän takia ohjausryhmä arvioi, että olisi parempi supistaa työmäärää ja käsitellä vain jälkimmäistä 6 kuukauden ajanjaksoa eli syksystä 1994 kevääseen 1995.

Valmis tietue jaettiin kuuteen eri matriisikokoon välillä n. 30 muuttujaa x 4250 otosta ja 61muuttujaan x 500 otosta. Näistä ajettiin korrelaatioanalyysi superkalanteri-, pituusleikkuri- ja kokonaishylkymetriensä suhteen.

Seuraavassa vaiheessa matriiseista poistettiin ne mittasuureet, jotka eivät korreloineet pohjahylkymetriensä kanssa (alle 0.1 korrelaatio). Tämän jälkeen TTKK:n säätötekniikan laboratoriossa ajettiin kyseisistä tiedostoista MAR-analyysit (monimuuttuja regressioanalyysi).

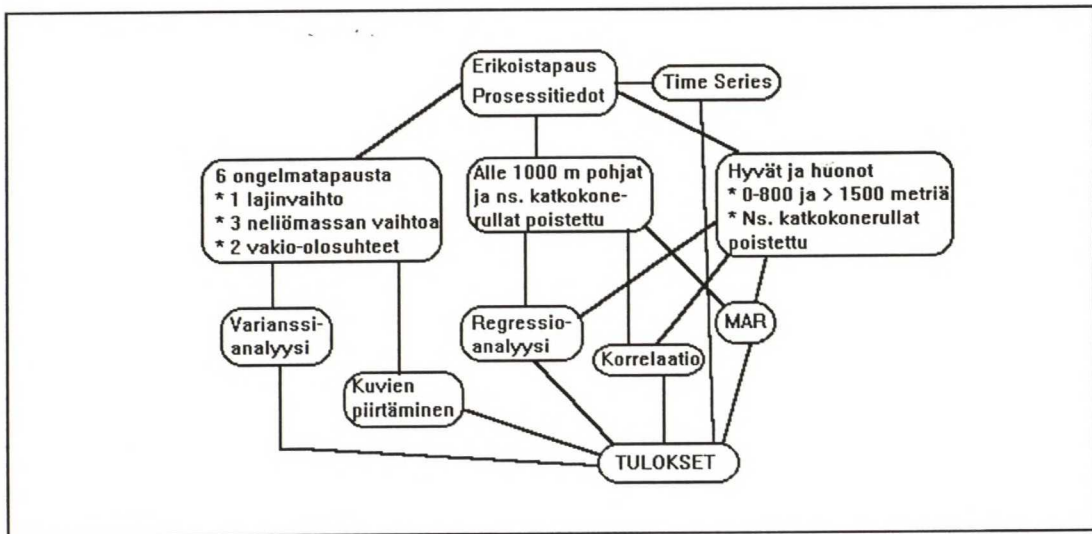


Kuva 29. Prosessin tilastollinen tarkastelu ajalta 30.9.94-30.3.95.

Tietojen käsittelyn jälkeen ei saavutettu haluttuja tuloksia, minkä takia päätettiin jatkaa käsittelyä vielä neljällä eri tavalla:

1. Valittiin kuusi pohjahyllyn ilmentymisjaksoa ja tutkittiin muuttujia niiden aikana ja niitä edeltäneistä normaalitilanteista.
2. Poistettiin kaikki ns. hyvät pohjat (alle 1000 metriä) sekä katkon jälkeiset märät pohjat eli käsiteltiin vain pohjahyllyllisiä konerullia
3. Verrattiin hyviä (alle 600 metriä) ja huonoja (yli 1500 m) pohjia keskenään
4. Etsittiin spektrianalyysin avulla säännöllisyyttä ilmiölle.

Manipuloidut matriisit analysoitiin tämän jälkeen korrelaatio-, regressio-, varianssi- sekä MAR-analyyseillä. Lisäksi manipuloimattomasta datasta pyrittiin löytämään jaksollisuutta superkalanteri-, pituusleikkuri- ja kokonaishylkymetriren sekä konerullan pituuden osalta Excelin- taulukkolaskentaohjelma Statistica Time Series-analyysillä (spektrianalyysi).



Kuva 30. Rajattu tilastollinen tarkastelu ajalta 30.9.94-30.3.95

10.3 Paperitekniset selvitykset

Suurin osa käytetyistä paperiteknisistä mittauksista olit normaalista SCAN-standardista poikkeavia. Tarkemmat kuvaukset näistä menetelmistä löytyy liitteestä 2 ja 3.

Konerullan hoitopuolen päätyä kuvattiin *lämpökameran* avulla vaihdon aikana. Seurantakokeiden aikana tarkkailtiin etenkin konerullan päädyn liikkeitä ja kitkasta seurannutta lämpöä jarrutuksen aikana. Mittaus on hyvin yksinkertainen toteuttaa.

Pull-Tab-mittauksen periaatteena on, että mitataan rullan sisältä pois vedettävän liuottimella puhdistetun liuskan liikuttamiseen tarvittava ulosvetovoimaa, joka on verrannollinen pohjalla vallitsevaan radiaalipaineeseen. Mittaukset toteutettiin

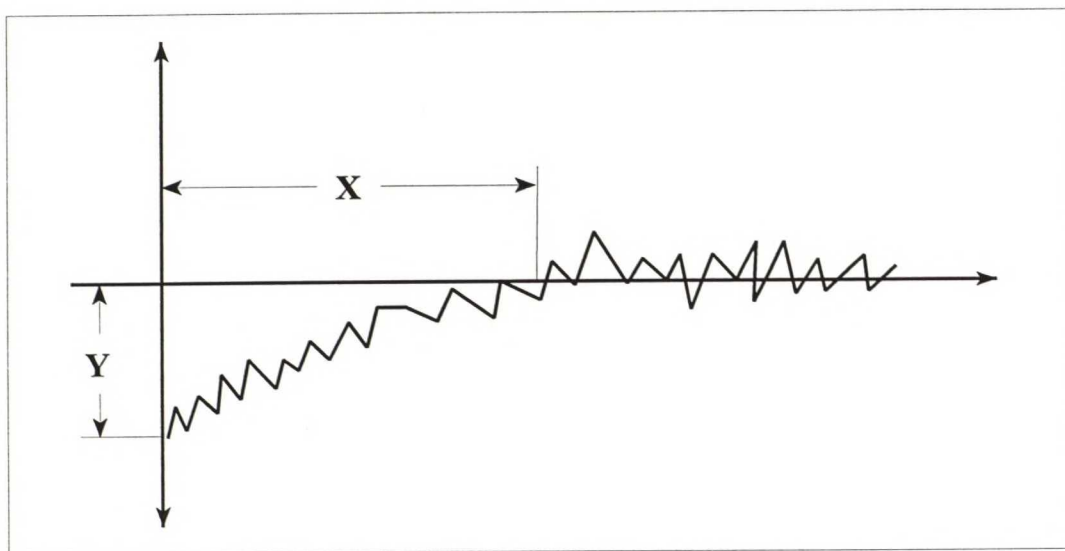
teippaamalla tampuurirautoihin oletetun paperiradan reunan kohdilla n. 20 cm pitkät ohuet välilevyt. Levyistä noin 10-11 cm jäi paperiradan reunan alle. Paperiradan reunan alle jäävä osuus kierrettiin tupakkapaperin ympärille, jolloin minimoitiin erilaisista kitkapinnoista muodostuvat virheet. Konerullan pysähdyttyä se pyöritettiin asentoon, jossa liuska oli noin kello 9 asennossa hoitopuolelta katsottuna, jolloin sen syvyys paperiradan ulkopuolelta mitattiin sekä vetämiseen tarvittavan voiman suuruus. Menetelmään aiheuttaa häiriöitä tampuuritelan uritus, epäpuhtaudet, liuskan sijainti, profiilivirheet reunoilla sekä aikaviive rullauksen lopettamisen ja mittauksen välillä.

*Staattisen sähkö*n mittauksen tavoitteena oli selvittää mahdollisten kerrosten liikehtimisen seurauksena aiheutuvien staattisen sähkökentän muodostumisia. Mittauksessa käytettiin käsikäyttöistä mittalaitetta, joka mittaa anturista noin 2-3 cm etäisyydellä olevan pinnan varautumista. Mittapisteinä olivat konerullan kyljet pohjalta ja pinnalta viisi minuuttia ennen vaihtoa, pysähtymisen jälkeen sekä superkalanteroinnin aukirullauksessa.

Kitkamittaukset tehtiin Lorentzen&Wettren Tumila-kitkamittauslaitteella. Mittaukseen valittiin paperinäytteet viidestä radan eri kohdasta: 25 cm HP ja KP-reunoista, 2.5 metriä HP- ja KP-reunoista sekä keskeltä. Samasta koepisteestä tehtiin vähintään kaksi rinnakkaista määritystä ja mitattiin vain yksi lepo- ja liikekitkamittaus leikattua näytettä kohden. Mittauksessa paperiarkit olivat samalla tavalla kuin rullauksessa eli alapinta yläpintaa vastaan konesuunnassa.

Paper Lab- paperirainan testausmenetelmää käytettiin selvittämään mahdollisia veto-, venymä ja murtotöiden poikkiprofiilien hajontojen vaikutuksia pohjahylyn syntymiseen. Näytteet otettiin konerullan pohjalta sekä pinnasta. Näyteraina rullattiin näytehylsyn päälle, jonka jälkeen laite mittasi automaattisesti paperiin liittyvät ennalta määritetyt paperitekniset mitta-arvot.

Tapio-analysaattorin käytön tavoitteena oli selvittää profiilien vaikutusta pohjahylyn syntymiseen. Sen toiminta perustuu yli 11 poikkiratanäytteen antamaan keskiarvoprofiilitulokseen. Mittausta ennen poikkiratanäytteet yhdistettiin toisiinsa ja rullattiin alle 20 cm leveäksi rullaksi. Mittalaite mittasi hitaasti ohi kulkevan paperiradan eri paperitekniset arvot on-line-tietona. Laitteen prosessori laski tämän perusteella keskiarvot ja hajonnat. Profiilitulostuksiin piirrettiin kuvan 31 mukaisesti rainan reuna-alueiden muutokset keskiarvoon nähden.



Kuva 31. Tapio-analysaattorilla mitatuista poikkirainaprofiileista muodostetut reunaprofiilien poikkeamat paperirainan keskiarvoon verrattuna.

Työn aikana selvitettiin mahdollisuudet käyttää perinteisiä rullanmittausmenetelmiä koeajoissa, mutta niiden käytöstä luovuttiin niistä saatujen huonojen kokemusten takia. Tärkeimmät käytössä olevat rullanmittausmenetelmät on esiteltynä lyhyesti liitteessä 3.

11. TILASTOLLINEN TARKASTELU

11.1 Yleistä

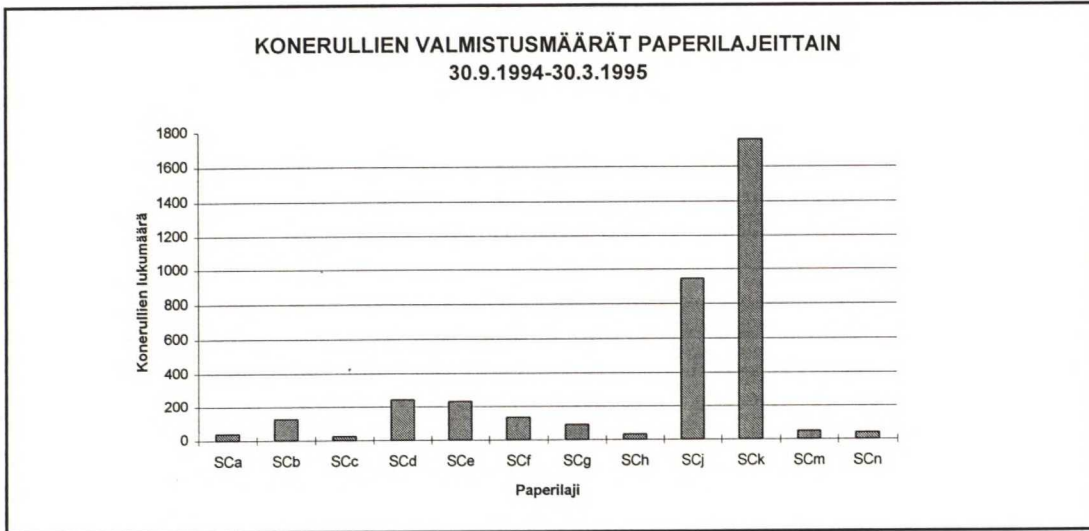
Tilastollisen tarkastelun tavoitteena oli selvittää prosessista kerätyn tiedon avulla ongelman syntymekanismeja sekä mahdollista jaksollisuutta. Syväpainopaperikoneen osalta kerättiin puolen vuoden ajanjaksolta (30.9.1994-30.3.1995) 61:sta muuttujasta tiedot. Konerullia oli otoksessa n. 4250 kappaletta, joista löytyi 32:een muuttujaan kaikki arvot. Esim. käyttölaboratorion paperiteknisiä mittausrvoja saatiin vain joka kolmannelta konerullasta ja tiettyjä arvoja vain kerran työvuorossa. Tällöin otoksien lukumäärä pieneni huomattavasti.

Tietystä osasta konerullia ei saatu kerättyä kaikkia tietoja vaan jouduttiin järjestämään tietue kuuteen eri matriisikokoon. Tämän takia tuloksia käsiteltäessä saatiin aikaan hieman erilaisia riippuvuuksia. Yleisesti tuloksien perusteella voidaan havaita, ettei mikään yksittäinen tekijä selitä ongelman syntyä yksinään. Tämä olikin arvattavissa työn aloittamisen yhteydessä, mutta systemaattisen ongelman käsittelyn kannalta haluttiin varmistus asiasta.

11.2 Prosessin tilastollinen tarkastelu ajalta 30.9.1994-30.3.1995

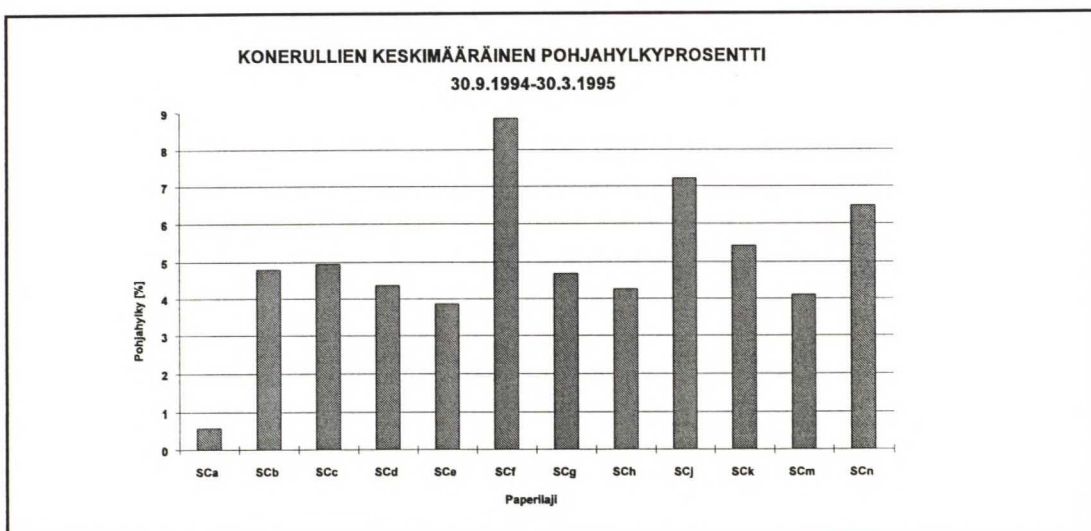
11.2.1 Tilastollinen pohjahylyn kartoitus

Tuloksien keräämisen ja taulukoinnin jälkeen ensimmäisessä vaiheessa tutkittiin kerättyjä tietoja vain piirtämällä erilaisia trendejä ja kuvaajia. Paperikoneen tuotanto oli selvästi lajipainotteista eli lähes 75 % tuotannosta oli SCj-SCm-paperilajeja ko. ajanjaksona. Muita lajeja ajettiin huomattavasti pienemmät osuudet (50-250 konerullaa).



Kuva 32. Konerullien valmistusmäärät kuuden kuukauden ajalta eri lajeilla ja neliömassoilla.

Vaikkakin ensimmäisten tulosten perusteella todettiin määrällisesti SCj-SCm-paperilajeilla olleen hylkyä eniten metreinä laskettuna, niin suhteessa tuotettuihin tonneihin pohjahylky jakautui tasaisesti kaikkien lajien ja neliömassojen kesken. Poikkeuksena voidaan pitää SCf- ja SCj-lajien hieman suurempia keskimääräisiä



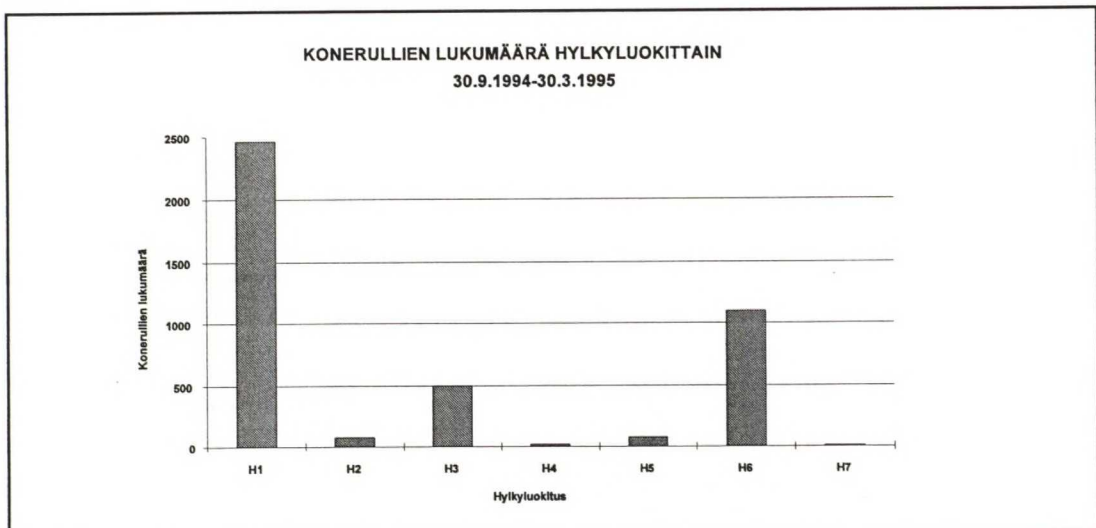
Kuva 33. Konerullien pohjahylkyosuus prosentteina kuuden kuukauden ajalta SC-syväpainopaperikoneen eri paperilajeilla.

hylkyosuuksia. Muuten hylkyosuudet jakautuivat prosentuaalisesti aika tasaisesti paperilajeittain.

Paperilajitietojen lisäksi haluttiin selvittää miten konerullat jakautuivat tuotannon laatuluokituksen mukaisesti. Tämän osuuden kanssa ehdittiin epäröimaan ongelman todellisuusperää miehistön virheellisten ja puutteellisten raportteihin tekemien merkintöjen takia. Hyvänä esimerkkinä voidaan pitää sitä, että lähes 900:n konerullan, joissa oli yli 800 metriä pohjahylkyä, tiedot olivat

Taulukko 6. Eri hylkyluokitus

Hylytyskoodi	Hyväksyntä-/hylytyssyy
H1	Hyvä konerullan pohja
H2	Lajinvaihto, käyntiinajo, "ei kulje", jne. hylky
H3	Paperikonekatkon jälkeinen märkäpohja (hylkyä)
H4	Eri laadullisia hylytyssyitä
H5	Alamittainen konerulla
H6	Konerullan pohjahylky SK:n aukirullain tai PL alkumetrit
H7	Peruutus

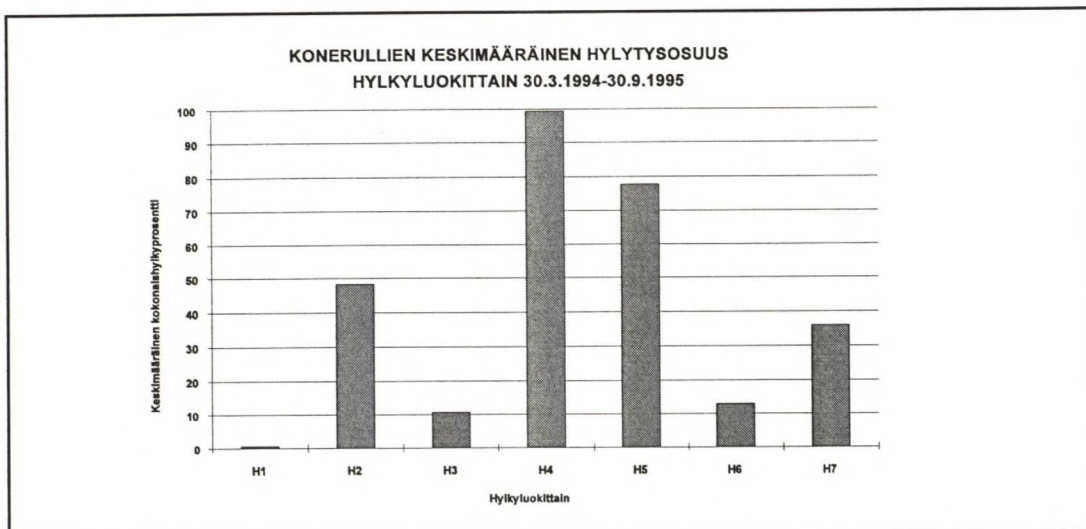


Kuva 34. Konerullien jakautuminen eri hylytys- tai hyväksyntäsyille.

sisällytettynä kategoriaan hyvät konerullat (H1). Yleisimmät hylityssyykategoriat ovat paperikoneella taulukon kuusi mukaiset.

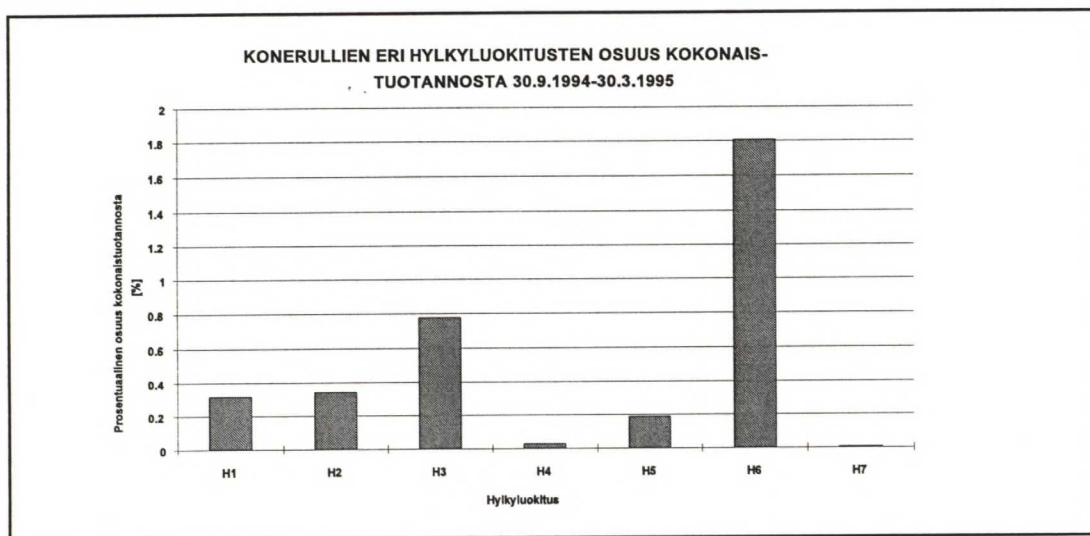
Konerullista noin 65 % oli ns. hyväksyttäviä eli pohjahylkyosuus jäi alle 600 metrin. Seuraavaksi suurin yksittäinen kategoria oli pohjahylky eli H6. Valitettavasti tämän osalta on vaikea sanoa, mikä on todellista hylkyä ja mikä on varmuusmarginaalin kasvattamisesta johtuvaa. Seuraavaksi suurin hylityssyy muodostui ns. määristä eli katkon jälkeisistä prosessin kosteuden tasaantumispohjista, joita oli puolen vuoden aikana noin 500 kappaletta. H6 hylityssyy eli pohjahylkyosuus ja sen muodostumiseen liittyvien tekijöiden selvitys oli diplomityön pohjimmaisena tavoitteena.

Muutettaessa näiden konerullien pohjahylky tai hylkyarvot prosenteiksi koko konerullan pituuden suhteen voitiin havaita näiden harvemmin ilmentyvien hylityssyyden (H2-H5) johtaneen useimmiten lähes koko konerullan hylkäämiseen. H6-hylyn keskimääräinen pituus vaihteli noin 1500-30000 metrin välillä. Määrät pohjat olivat systemaattisesti noin 3000-4000 metriä.



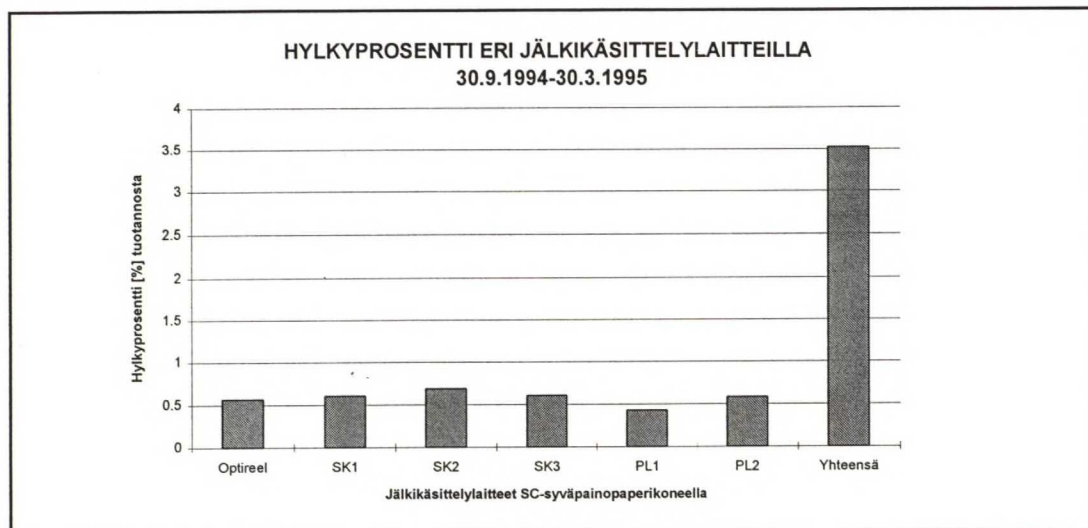
Kuva 35. Konerullan keskimääräinen hylitysosuus hylityssyykategorioittain.

Todellisen hylkyosuuden selvittämiseksi laskettiin vielä yhteenlaskettujen hylkykategorioiden mukaiset hylkymetrit, mitkä jaettiin kokonaistuotantometreillä, jolloin saatiin hyllyn osuus kokonaistuotannosta. H6-hylkytyssyy näytti olevan dominoivin kaikista eli 1.8 prosenttia kokonaistuotannosta.



Kuva 36. Hylkyprosentit eri hylkyluokituskategorioittain.

Laji- ja hylkytyssyyjakaumien lisäksi haluttiin varmistaa, ettei mikään tietty superkalanteri tai pituusleikkuri ollut selvästi enemmän hylkyä tuottava jatkojalostuksen osa. Keskimääräinen pohjahylkyprosentti oli lähes samaa tasoa kuin tehtaan tekemässä omassa tilastoinnissa. Hylkyosuus jakautui prosentuaalisesti tasaisesti kaikkien laitteiden kesken eli ollen noin 0.5 % laitetta kohden.

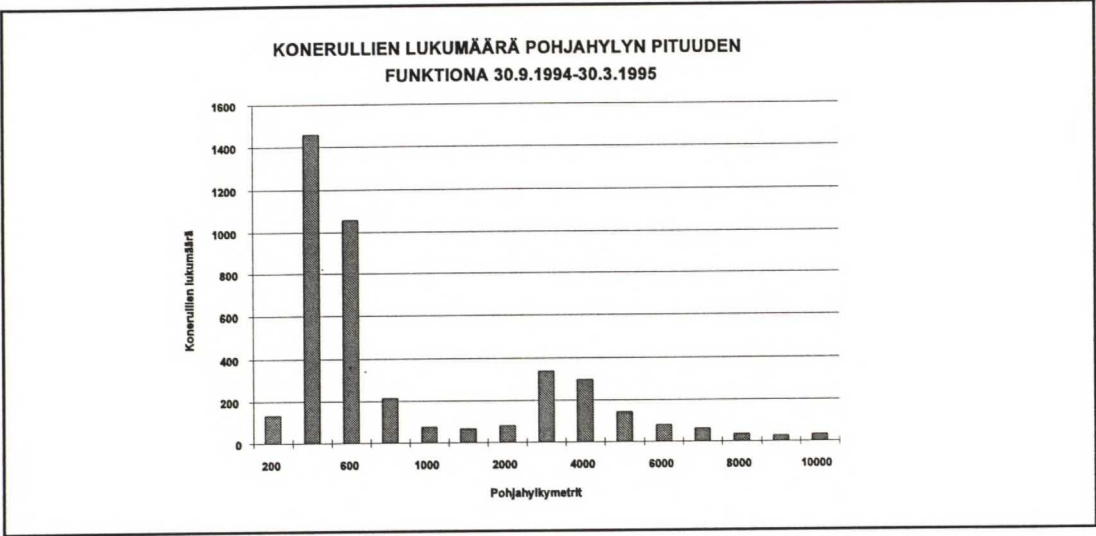


Kuva 37. Hylkyprosentit laitekohtaisesti SC-syväpainopaperikoneen kuivanpään jälkikäsittelyssä.

Tilastojen perusteella saatiin myös selville pohjahylkymetrien jakauma konerullittain. Selvästi suurin osa konerullista asettui hyväksytyn rajan sisäpuolelle eli alle 600 metrin. Toinen suuri piikki muodostui 3000-4000 metrin kohdille, mikä oli lähinnä ns. märkiä pohjia eli H3-hylkyä. Jos näistä pilareista poistettiin märän hyllyn osuus, niin selvästi erottuvaksi yksittäiseksi pilariksi jäi 5000-6000 metrin pituisten pohjien osuus kaikista pohjahylkykonerullista. Taulukon 7 mukaan jälkikäsittelyn konerullahylky oli n 2700 metriä, josta noin 2000 metriä muodostui H6-pohjahylystä.

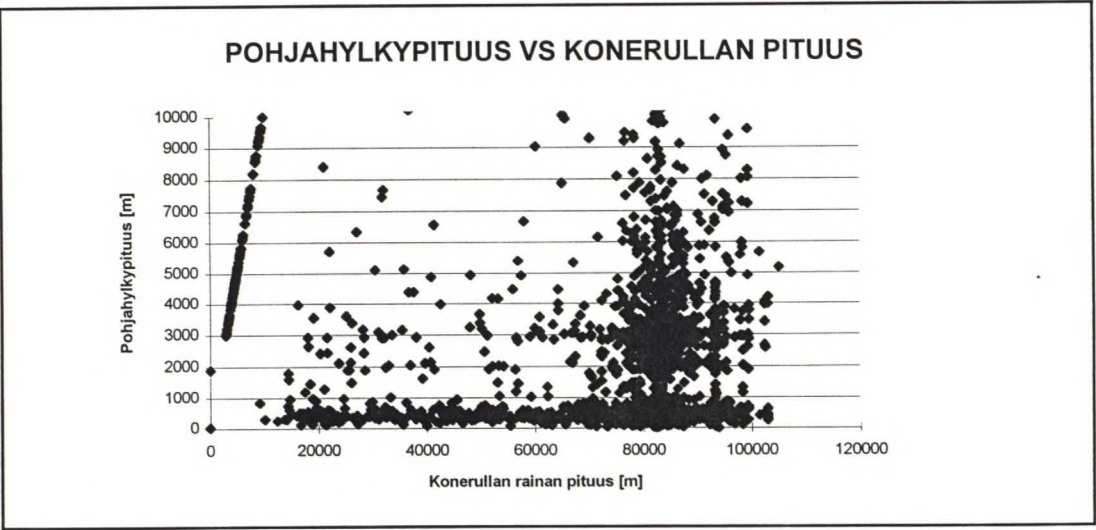
Taulukko 7. Pohjahylystä laskettuja tunnuslukuja 30.9.1994-30.3.1995

Pohjahylky	SK-	PL-	Kokonais-	Yksikkö
Otos	4250	4250	4250	Kpl
Keskiarvo H1- H7	1920	767	2687	[m]
Keskiarvo H1 ja H6	1200	780	1980	[m]
Minimi H1-H7	5	0	5	[m]
Maksimi H1-H7	83820	43200	83820	[m]
Keskihajonta H1-H7	4236	2742	4960	
Mediaani H1-H7	500	0	558	[m]
Eniten lkm:sti H1-H7	320	0	320	[m]



Kuva 38. Konerullien lukumääräinen esiintyminen eri pohjahylkymetrikategorioissa.

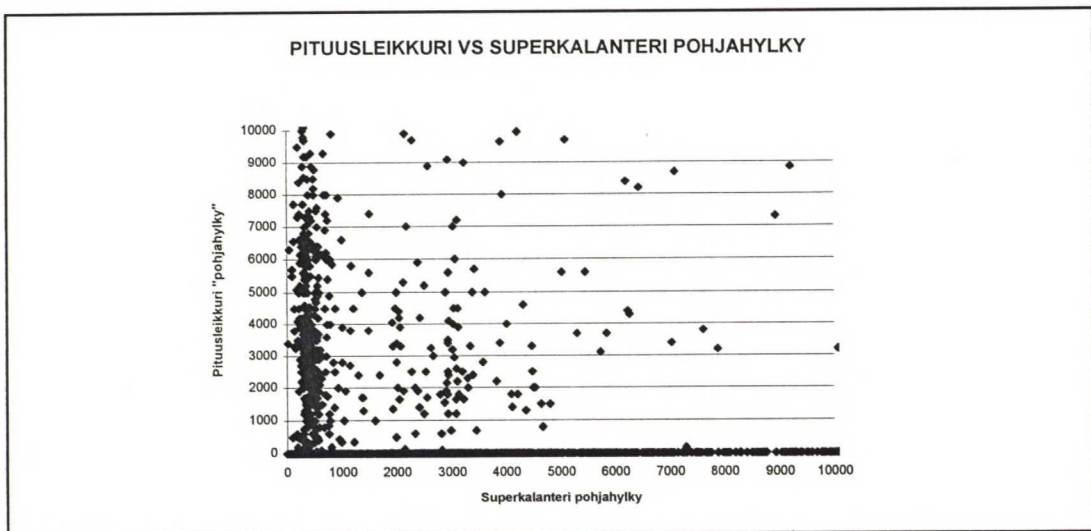
Pohjahylkyjakauman perusteella haluttiin myös selvittää oliko konerullan painolla mitään tekemistä ongelman kanssa. Tuotannon osalta (kuva 39) suurin osa tuotetuista konerullista oli noin 85 tai 92 km pitkiä, joten otoksen suuruuden takia myös hylkyosuus oli selvästi suurempi tällä kilometrialueella. Lisäksi n. 3000 metrin kohdalla oli havaittavissa märkien pohjien aiheuttama iso kasauma. Vasemmassa laidassa näkyi ns. H5-hylky eli alamittaiset konerullat, jotka olivat alle 10000 metrin pituisia.



Kuva 39. Pohjahylkypituus vs konerullan rainan pituus.

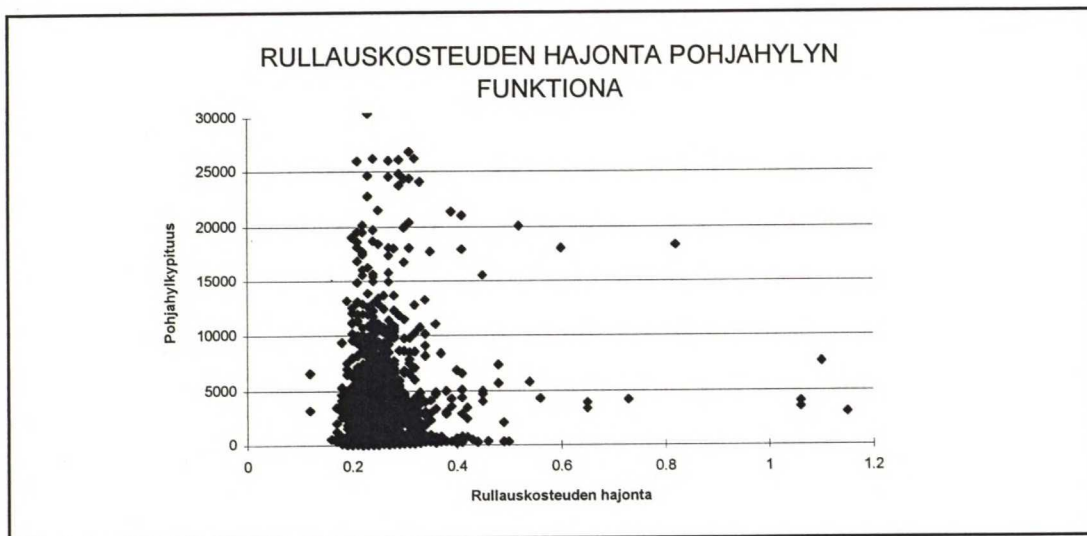
Visuaalisesti arvioimalla ei voitu osoittaa pohjahylkymetrien lisääntyvän konerullan rainan pituuden kasvaessa.

Piirrettäessä pituusleikkurin pintamuuton alkuratakatkojen (rullaimen pohja) pituudet superkalanteripohjahyllyn funktiona havaittiin ilmiö, missä paperirainan kulkiessa superkalanterin läpi normaalisti, kasvoi riski, että ns. konerullan pohja-alue ei kestä pituusleikkurin alkukiihdytystä vaan katkeaa. Tämä johtui siitä, että paperin lujuusominaisuudet kestävät välillä superkalanterin käsittelyn, mutta menettäessään lujuusominaisuuksiaan kalanteroinnin yhteydessä paperi heikkenee liiaksi pituusleikkurikäsitteilyä varten (41).



Kuva 40. Pituusleikkurin pintamuuton hylkymetrit superkalanterin pohjahylkymetrien funktiona.

Paperitekniisiä ominaisuuksia tulostettaessa pohjahylkymetrien funktiona, havaittiin ilmiö, että pohjahylkymetrien kasvaessa pisteiden hajonta pieneni. Cutshall (42) esitti, että otannan kasvaessa on luonnollista, että otantaan muodostuu tietty luonnollinen jakauma. Tämä saman tyyppinen ilmiö on havaittavissa kosteuden mittauksien hajonnoista kuvasta 41.



Kuva 41. Rullauskosteuden hajonnan esiintyminen superkalanterin pohjahylkymetriensä suhteen.

Prosessitietojen perusteella pohjahylky ei ollut tietyn lajin tai neliömassan ongelma vaan sitä syntyi yhtälailla kaikilla paperilajeilla. Laitteiden osalta osuudet olivat lähes yhtäsuuret. Selvittämättömän hyllyn osuus oli 1.8 %.

11.2.2 Korrelaatioanalyysit

Kuvaajien piirtämisen jälkeen kerätyistä tiedoista etsittiin yksittäisten tekijöiden selittävät vaikutukset pohjahylkymetriensä muodostumiseen. Korrelaatiot ajettiin sekä superkalanteri- että pituusleikkuripohjametriensä funktiona. Superkalanterin pohjahyllyn osalta ainoa prosessisuure, joka antoi yli 0.1 korrelaation oli neliömassan hajonta ennen rainan kostutuslaitetta (K-hajonta g/m², 0.12). Muuten mikään yksittäinen tekijä ei korreloinut hylkymetriensä kanssa. Pituusleikkurin pintamuuton katkeamisten kanssa ei saatu minkäänlaista vastetta. Tulokset ovat taulukoituina liitteessä 3.

11.2.3 MAR-analyysit

Kolmesta suurimmasta matriisista ajettiin MAR-analyysit TTKK:n säätötekniikan

laboratoriossa. Taulukosta yritettiin ottaa aluksi kaikki tekijät mukaan, mikä aiheutti ohjelman kommentoimisen ei-korreloivista tekijöistä. Kaikki alle 0.1 korreloivat tekijät poistettiin, jolloin ohjelma sai aikaan MAR-tilukun.

Taulukkuun 8 on kerätty liitteessä 4 esitetyt MAR-tilukkojen viimeinen rivi eli superkalanterin pohjahylkyosuus.

Taulukko 8. Tulokset MAR-analyysistä superkalanterihyllyn osalta

Nro	Selite	Matriisi A	Matriisi B	Matriisi C
14	Konerullan pituus	0,01	0,10	0,04
16	Optireel katkopohjat [m]	0,03	0,02	0,13
19	Seisokkien syy (PK:n osa)	0,06	0,05	0,18
23	PK:n nopeus	0,61		
27	Superkalanteri	0,21	0,28	0,23
30	SK-pohja ind. hallittavuus	0,02	0,02	0,02
31	SK-pohja ind. työnäärä	0,12	0,06	0,15
35	Pituusleikkuri		0,08	0,11
56	Täyteaine 2	3,22		
58	Täyteainemäärä	7,28	12,33	14,1
59	Täyteainesuhde			0,06
43	R-hajonta neliömassa		0,04	
44	K-hajonta neliömassa		0,06	0,92
38	R-kosteus	0,20		
28	Muut kuin em. tekijät	88,24	86,94	84,05

Taulukon perusteella ainoaksi pohjahylkyyn vaikuttavaksi osatekijäksi voidaan havaita täyteainemäärässä tapahtuneet muutokset. Vain noin 15 prosenttia muutokseen vaikuttavista tekijöistä saatiin analyysin perusteella selvitettyä.

11.3 Rajattu tilastollinen tarkastelu ajalta 30.9.94-30.3.1995

Työtä jatkettiin valitsemalla kuusi pohjahylkyesiintymää. Lisäksi analysoitiin vain pohjahylkykonerullia, verrattiin hyviä ja huonoja konerullia keskenään sekä käsiteltiin kerätty tieto spektrianalyysin avulla.

11.3.1 Siirtyminen pohjahylkytilanteeseen

Kuuden kuukauden ajalta löydettiin yksitoista ns. voimakasta pohjahylkyesiintymää, joissa tietystä konerullasta lähtien alkoivat ajo-ongelmat. Käsittelyyn otettiin kuusi pahinta pohjahyllyn ilmentymää, mitkä jakautuivat paperikoneen ajotilanteisiin, jossa tapahtui:

1. Lajin- ja neliömassan vaihto	1 kpl
2. Neliömassan vaihto	3 kpl
3. Sama laji ja neliömassa	2 kpl

Tietojen analysointi toteutettiin varianssianalyysin avulla. Suurimmasta osasta muuttujia saatiin varsinkin lajinvaihdon yhteydessä lähes 99 % varmuus muutoksesta. Tämä oli selvityksen kannalta harhaanjohtavaa, sillä suurin osa muutoksista oli tahallisesti aiheutettuja prosessimuutoksia. Työn kannalta parhaimman tuloksen antoivat vakio-olosuhteissa (sama laji ja neliömassa) tapahtuneet muutokset. Toisessa tapauksessa oli havaittavissa lujuuksuhteissa muutoksia sekä toisessa profiilien hajontojen paranemista. Molemmissa tapauksissa ilmanläpäisevyys pieneni n. 10-15 % sekä paperikoneen nopeudessa tapahtui muutos (liite 4).

11.3.2 Erot pohjahyllyllisten konerullien sisällä

Seuraavaksi tiedoston käsittely toteutettiin analysoimalla vain ns. huonoja (pohjahyllyllisiä) konerullan pohjia. Tiedoista oli tässä vaiheessa poistettu kaikki alle

1000 metrin pohjat sekä katkojen jälkeiset määrit pohjat (H3). Suurempaan otokseen saatiin noin 1000 konerullaa ja 25 muttujaa sekä pienempään n. 250 konerullaa ja kaikki 61:n muuttujan tiedot. Molemmat matriisit käsiteltiin korrelaatio-, regressio- sekä MAR-analyyseillä. Tulokset löytyvät taulukoituna liitteestä 4.

Suurempaan otokseen otettiin mukaan 25 muuttujaa. Korrelaatiot muodostettiin sekä superkalanteri- että kokonaishylkyprosentin suhteen. Tulosten mukaan superkalanterin hylkyprosenttiin vaikutti pienentävästi ainoastaan pituusleikkurin pohjametriä ilmentyminen (-0.4) sekä jossain määrin ratakiireyden muutosarvot (n. +/- 0.2). Nämä selittyvät lähinnä edellä mainitun ongelman ilmentymisen sekä ongelmatilanteissa tehtyjen muutoksien perusteella. Kokonaishylkymetreihin eivät vaikuta muut tekijät kuin hylkymetreihin liittyvät parametrit.

Regressioanalyysin perusteella kokonaishylkyprosentti selittyy noin 10 prosenttisesti analyysissä mukana olleiden muuttujien avulla. SC-hylkyprosenttiin vastaavasti ratakiireyden alkuarvo, konerullan pituus ja kuivatetun paperirainan neliömassan hajonta antoi 62 % selitysasteen. Käytännössä tämä ei selitä ongelmaa, sillä ratakiireyden alkuarvon suurentaminen on miehistön tekemä muutos ongelman eliminoimiseksi sekä konerullien pituus vastaavasti muodostuu mahdollisista lyhyemmistä katkokonerullista, mutta neliömassan K-hajonnan suureneminen muodostui nähtävästi jostakin muusta prosessin muuttujasta.

MAR-analyysin perusteella saatiin kokonaishyllyn osalta muiden kuin valittujen tekijöiden vaikutukseksi noin 79 %. Yksittäisten valittujen tekijöiden vaikutus oli seuraavanlainen: ratakiireys n. 4 %, SC-hylkyprosentti 3.1 % sekä konerullan pituus 2.1 %. SC-hyllyn suhteen vastaavasti ulkoisten tekijöiden osuus oli noin 75 %. Yksittäisinä tekijöinä vaikuttivat ratakiireyden käyrä 5.6 %, konerullan pituus 4.6 % sekä viivakuorman alkuarvo 2.1 %.

Pienemmän otoksen tarkasteluun otettiin vain ne konerullat, mistä saatiin kaikki 61:n

muuttujan tiedot kerättyä. Tulokset olivat lähes samantyyppiset. Korrelaatioanalyysin perusteella vain pohjien hylkymetrioiden pituudet superkalanterilla ja pituusleikkurilla korreloivat hylyn kanssa. Heikkoja korrelaatioita (alle 0.2) saatiin kuivatusosan jälkeisen loppukostuttamattoman rainan eli K-neliömassan hajonnan, ilmanläpäisevyyden, konerullan pituuden sekä konesuuntaisen vetolujuuden suhteen.

Regressioanalyysissä saatiin superkalanterihylyn osalta kahdeksalla eri muuttujalla noin 53 % selitysaste. MAR-analyysiä ei pystytty toteuttamaan liian pienen otannan takia.

11.3.3 Hyvät vs huonot konerullat

Kolmas tiedoston erikoiskäsittelyn kohde oli selvittää mitä eroavuutta on ns. hyvien ja huonojen konerullien välillä. Otokseen otettiin kaikki konerullat, joiden pohjille jäi joko alle 800 metriä tai yli 1500 metriä. Jälkimmäisten joukosta poistettiin vielä H3-hylytyssyyn konerullat eli märät pohjat. Tulokset ovat taulukoituna liitteessä 4. Otokset olivat samantyyppiset kuin edellisessä kappaleessa.

Suuremman otoksen tietueen korrelaatioanalyysin perusteella mikään muuttujista ei antanut yli 0.1 korrelaatiota pohjahylkyongelman kanssa. Regressioanalyysin tulokset olivat samansuuntaiset eli yli 10 % selitystasetta korkeampiin arvoihin ei päästy.

MAR-analyysiä varten data jouduttiin jakamaan kolmeen osaan, jotta ohjelmisto pystyi käsittelemään sen. Ohjausparametrien perusteella suurin vaikutus oli keskiömomentti- ja viivakuormakäyrän valinnoilla sekä ratakiireyden alkuarvolla. Superkalanterin hylkyprosenttiin näyttivät vaikuttaneen myös R- ja K-neliömassojen hajonnat sekä kokonaishylkyyn vastaavasti täyteaine 1 virtauksen määrä.

Pienemmän tietueen korrelaatioanalyysin tulokset olivat kuin edellisessä kappaleessa esitetyt eli mitään yksittäistä tekijää ei saatu korreloimaan 0.3:a korkeammilla arvoilla. Suurimpana yksittäisenä selittävänä tekijänä voidaan pitää konesuuntaisessa venymässä

tapahtunutta muutosta, mikä tämän mukaan pieneni pohjahylkyprosentin kasvaessa. Tämä muutos indikoi kuivatushistorian muuttumista. Lisäksi K-hajonta neliömassalla, ratakiireyden alkuarvo, ilmanläpäisevyys sekä tietyt täyteaineita kuvaavat luvut korreloivat heikosti.

Regressioanalyysissä vastaavasti saatiin eteenpäin askeltavalla menetelmällä noin 17 % selitysaste. Tällöinkin se muodostui 10:stä eri muuttujasta.

11.3.4 Muut analyysit

Tiedostoa käsiteltiin spektrianalyysin avulla konerullakohtaisesti kokonaispituuden sekä superkalanteri-, pituusleikkuri- että kokonaishylkymetriren suhteen. Tuloksien perusteella suurin ja voimakkain yksittäinen piikki muodostui noin 31 päivän jaksolle. Tämä oli suurinpiirtein samanpituinen kuin talvella 1994-1995 seisokkien välinen aika. Hylyn osalta ilmiö näytti olleen dominoivin. Käytännössä spektrianalyysistä ei löydetty mitään selvää vastetta ongelmalle. Tulokset ovat taulukoituna liitteessä 4.

Tiedon käsittelyyn kokeiltiin kahta eri neuroverkko-ohjelmaa: toinen Unix - toinen PC-pohjainen. Kummallakaan ohjelmalla ei pystytty opettamaan verkkoa kerätyn tiedon avulla .

11.4 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tehtyyn työhön nähden saatiin tilastollisesta analysoinnista valitettavan heikkoja tuloksia ongelmaratkaisun kannalta.

Perustietoa käsiteltäessä voitiin havaita seuraavat prosessiin liittyvät asiat:

1. Pohjahylkyosuus ei ollut tietyn lajin tai neliömassan mukainen ongelma
2. Pohjahylkyä syntyi tasaisesti kaikilla jatkojalostuksen laitteilla.

3. Selvittämättömän pohjahylyn osuus (H6) oli noin 1.8 % kokonaistuotannosta. Toiseksi dominoivin oli ns. märät pohjat (H3) eli katkon jälkeisten konerullien hylkypohjat (0.8 %).
4. Lukumääräisesti suurin osa selvittämättömistä pohjahylystä ilmeni 5-6 km välillä.
5. Hyvin usein ongelmatilanteissa ongelma havaittiin superkalanterilla. Joissakin tapauksissa rata kesti superkalanteroinnin, mutta ei pituusleikkauksen ensimmäisen muuton alkukiihdytystä.

Korrelaatioanalyysin perusteella ei saatu perustaulukoista minkäänlaisia tuloksia. Ainoastaan neliömassan hajonnalle saatiin hyvin heikko vaste. MAR-analyysi vastaavasti selitti noin 15 % pohjahylystä valituilla parametreilla.

Jatkotoimenpiteissä saatiin selvitettyä, että ongelmatilanteissa tapahtui lieviä paperitekniisiä muutoksia vakioajo-olosuhteissa. Toisessa tapauksessa lujuudet muuttuivat heikompaan suuntaan sekä toisessa profiilien hajonnat paranivat ongelman ilmettyä. Vastaavasti molemmissa tapauksissa ilmanläpäisevyys pieneni 10-15 % sekä paperikoneen nopeus muuttui 0.1-1 %.

Vain pohjahylyllisiä konerullia analysoitaessa todettiin SC-hylkyprosentin pienentyvän ongelmatilanteissa silloin, kun pituusleikkurin pintamuuttoon syntyy ns. "porsas" eli katko asiakasrullauksen alkumetreille. Regressionalyysissä saatiin tulokseksi, että ratakiireyden kasvulla, konerullan pituuden pienentymisellä sekä kuivatetun paperiradan neliömassan hajonnan kasvamisella oli noin 62 prosentin selitysaste pohjahylyn ilmentymiselle. MAR-analyysillä pystyttiin selittämään n. 20 % muutoksista valituilla tekijöillä. Kuivan radan neliömassan hajonnan lisäksi ilmanläpäisevyydellä sekä konesuuntaisella vetolujuudella on merkitystä pohjahylyn syntymisen suhteen.

Verrattaessa pohjahylyttömiä konerullia pohjahylyllisiin konerulliin olivat kaikkien valittujen tekijöiden korrelaatiot alle 0.1 sekä regressioyhtälöiden selitysasteet alle 10

prosenttia. MAR-analyysillä voitiin todeta ohjausparametreista eniten hylkyyn vaikuttavan ratakiireyden alkuarvon sekä keskiömomentin ja viivapaineen käyrien valinnat. Superkalanterihylkyyn vastaavasti vaikuttivat selittävyiden perusteella poikkiprofiilien R- ja K-mittauksien neliömassojen hajonnat sekä kokonaishylkyyn täyteaine 1:n virtauksen määrä. Matriisiin, jossa otos oli pienempi, mutta muuttujien määrä oli suurempi, saatiin tuloksia, jotka indikoivat, että konesuuntainen venymä pieneni pohjahylyn ilmenemisen yhteydessä.

Spektrianalyysin perusteella ei löydetty muuta kuin, että pohjahylkymetrioiden määrät ilmenevät voimakkaimmin kuukauden pituisina ajanjaksoina. Matriiseja yritettiin opettaa neuroverkon avulla tuloksetta.

Johtopäätökset: Tulosten perusteella seuraavat osa-alueet ilmensivät pohjahylyn syntyä:

1. Paperirainan poikkisuunnan neliömassahajonta kasvoi pohjahylkytilanteessa
2. Konesuuntaisessa venymässä ja vetolujuudessa ilmeni muutoksia

12. PROSESSITEKNISET SELVITYKSET

12.1 Yleistä

Edellisessä kappaleessa esitetyn tilastollisen tarkastelun lisäksi haluttiin analysoida pohjahylyn syntyä prosessiteknisistä näkökohdista. Nämä selvitykset kohdistuivat lähinnä SCe- ja SCj-lajien päivän pituisten seurantakoeajojen tuloksiin. Lisäksi etsittiin menetelmää joka indikoisi parhaimmin pohjahylyn syntymisen kiinnirullaimella.

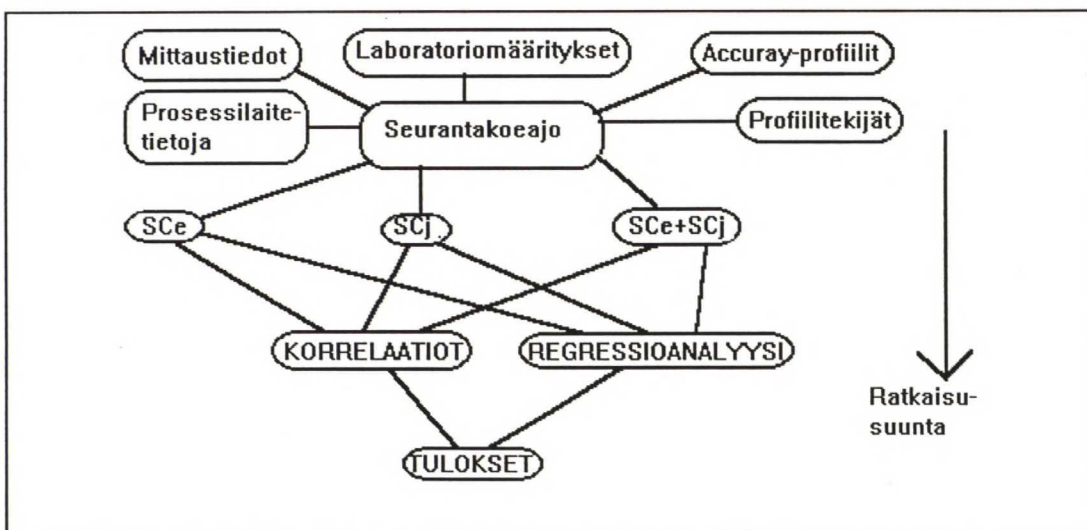
12.2 Seurantakoeajo

12.2.1 Yleistä

Koeajon tavoitteena oli selvittää mittamenetelmien resoluutio vakio-olosuhteissa pohjahylyn funktiona. Seurantakoeajot toteutettiin maaliskuussa 1995 SCe- ja SCj- paperilajeilla.

Koeajossa seurattiin konerullien muodostumista lämpökamera-, Pull-Tab-, tiheys- ja staattisen sähkön mittauksilla. Paperitekniisiin mittauksiin otettiin 20 poikkiratanäytettä konerullan pinnasta paperikoneen kiinnirullaimella sekä 20 konerullan pohjasta superkalanterin aukirullauksessa. Poikkiratanäytteistä määritettiin Tapio-analysaattorilla paksuus-, tiheys-, neliömassa-, kiilto- ja transmissioprofiilit sekä kitka-arvot poikkiradan viidestä kohdasta.

Tulokset analysoitiin sekä yhdessä että lajeittain korrelaatio- ja regressioanalyysillä. Lisäksi selvitettiin paperin ominaisuuksien muuttuminen pinnan ja pohjan välillä.



Kuva 42. Seurantakoeajon tulosten käsittelymalli.

Seurantajakson suunnittelukokouksessa kokeen tavoitteeksi asetettiin konerullan mittausten menetelmien testaus ja niiden resoluution tarkastus pohjahylyn hahmottamisen kannalta, paperinäytteiden karakterisointi profiilien osalta, paperin kitkaominaisuuksien hahmottaminen sekä prosessin olosuhdeseurannan varmistaminen mahdollisten muutosten kannalta. Erikoisuutena käytettiin menetelmissä kuvattua reunaprofiilien x- ja y- indeksiä sekä reunaprofiilin muutoksen gradienttia y/x .

Mittauksien ja näiden johdannaisarvot ovat listattuna liitteessä 5. Matemaattiseen tulosten käsittelyyn saatiin n. 220 muuttujaa selvittämään pohjahylyn muodostumista. Paperikoneen katkojen jälkeiset H3-hylytyssyyntä mukaiset konerullat poistettiin otannasta.

12.2.2 Korrelaatiot

Koeajotiedoista ajettiin aluksi korrelaatiot eli etsittiin yksittäisten tekijöiden selittävää vaikutusta pohjahylyn muodostumiseen. Korrelaatiot ajettiin sekä superkalanterin hylkymetrien että kokonaishylkymetrien funktiona molempien lajien koeajojen otoksista sekä näiden tuloksien yhdistetystä materiaalista.

Liitteessä 5 on taulukoituna tietyn mittaustavan lukumääräinen ilmentyminen suuremmilla kuin 0.5 ja alle -0.5 korrelaatioiden osalta sekä tarkempi selvitys niistä mittausteknisistä ominaisuuksista, jotka ilmenivät yleisimmin korrelaatiotaulukoissa.

SCj-lajin korrelaatioanalyysin tulokset ovat esitettynä taulukossa 10 superkalanterihylyn sekä vastaavasti taulukossa 11 kokonaishylyn suhteen.

Vika pystyttiin havainnoimaan parhaiten SCj-laadulla superkalanterin pohjahylyn suhteen lämpökameran tuoman informaation avulla. Kuvauksen perusteella havaittiin tampuuritelan pinnasta säteen suunnassa n. 10-15 cm etäisyydellä syntyvän n. 10-15 cm paksu lämpöraita konerullan jarrutuksen yhteydessä. Tämän lämpöraidan siirtyessä

kauemmaksi tampouritelasta sekä sen leveyden kasvaessa pohjahylkyosuus kasvoi.

Lisäksi hoitopuolen Pull-Tab arvojen ollessa selvästi korkeammat kuin normaalisti, oli pohjahylkyosuus myös suurempi.

Taulukko 9. SCj-lajilla superkalanterilla muodostuvaan pohjahylkyosuuteen vaikuttavien tärkeimpien tekijöiden korrelaatiot.

Mittalaite	Mittamenetelmä	Mittakohde	Korrelaatio
Lämpökamera	Raita	Leveys	0.84
Pull-Tab	Voima/cm ²	HP	0.80
Pull-Tab	Voima	HP	0.78
Lämpökamera	Raita	Vyöhyke alkaa	0.73
Tapio	Neliömassa	Pohja/Keskiarvo	0.66
Tapio indeksi Y ² /Y	Paksuus	Pinta/HP	-0.66
Tapio indeksi Y	Paksuus	Pinta/HP	-0.65
Tiheys	Piikikkyys	Havainto	0.64
Tapio	Transmissio	Pinta/Keskiarvo	-0.62
Tapio indeksi Y/Y	Paksuus	Pinta/HP	-0.62
Tapio	Paksuus	Pohja/Keskiarvo	0.60
Tapio indeksi Y	Kiilto yläpuolinen	Pohja/KP	0.60
Tapio	Transmissio	Pohja/Max-min	0.59

SCj-lajin kokonaishylkyyn vaikuttivat voimakkaimmin paksuuden ja neliömassan muutokset. Vastaavasti lämpökameran raidan leveys korreloi heikosti pohjahyllyn kanssa.

Taulukko 10. SCj-lajilla kokonaispohjahylkyosuuteen vaikuttavien tärkeimpien tekijöiden korrelaatiot.

Mittalaite	Mittamenetelmä	Mittakohde	Korrelaatio
Pohjahylky	Metri	Pituusleikkuri	0.97
Tapio indeksi Y^2/Y	Paksuus	Pohja/KP	0.85
Tapio indeksi X	Neliömassa	Pinta/HP	0.84
Tapio	Neliömassa	Pohja/KA	0.83
Pohjahylky	Metri	SK-hylky	0.65
Tapio indeksi Y/X	Paksuus	Pohja/KP	0.59
Tapio	Paksuus	Pohja/Jäännöshaj.	0.59
Tapio	Paksuus	Pohja/Keskiarvo	0.59
Tapio	Paksuus	Pohja/KP	0.58

Sce-lajilla näytti suhteellisen suuri osa mitta-arvoista korreloivan superkalanterihylyn suhteen. Eniten tuloksissa esiintyi muutoksia paksuuden, tiheyden ja kiillon arvoissa. Lisäksi kitkoilla näytti olleen SCe-lajin osalta huomattavasti suurempi merkitys pohjahylyn syntyyn kuin SCj:llä.

Taulukko 11. SCe-lajilla -pohjahylkyosuuteen vaikuttavien tärkeimpien tekijöiden korrelaatiot.

Mittalaite	Mittamenetelmä	Mittakohde	Korrelaatio
Tapio indeksi Y	Kiilto alapuolinen	Pohja/KP	0.93
Tapio indeksi Y/X	Kiilto alapuolinen	Pohja/KP	0.92
Kitka	Lepokitka	Pinta/ 1/4 KP	-0.89
Tapio	Neliömassa	Käyrämuoto	0.87
Tapio indeksi Y/X	Paksuus	Pohja/KP	-0.84
Tapio indeksi Y/X	Tiheys	Pohja/KP	-0.79
Tapio indeksi Y	Kiilto yläpuolinen	Pohja/kp	0.77
Tapio	Paksuus	Pohja/ps-hajonta	-0.76
Tapio indeksi X	Transmissio	Pinta/KP	-0.75
Kitka	Liikekitka	Pinta/KP	-0.72
Tapio indeksi Y^2/X	Tiheys	Pohja/KP	-0.71

Vastaavasti kokonaishylyn suhteen voimakkaimmin korreloivat profiilien reuna-arvojen muutokset ja kitkatekijät. Lisäksi neliömassan pohja-alueen profiilit huononevat kokonais-, konesuuntaisen- sekä jäännöshajonnan kasvun takia. Lämpökameralla ei löydetty samanlaista vaikutusta pohjahylkyyn kuin SCj-lajilla.

Taulukko 12. SCe-lajilla kokonaispohjahylkyosuuteen vaikuttavien tärkeimpien tekijöiden korrelaatiot.

Mittalaite	Mittamenetelmä	Mittakohde	Korrelaatio
Pohjahylky	Metrit	Pituusleikkuri	0.83
Tapio indeksi Y^2/X	Paksuus	Pohja/KP	-0.64
Tapio indeksi Y^2/X	Transmissio	Pinta/HP	-0.63
Kitka	Liikekitka	Pohja/HP	-0.60
Tapio indeksi Y	Transmissio	Pinta/HP	-0.60
Tapio	Neliömassa	Kokonaishajonta	0.60
Tapio indeksi Y/X	Transmissio	Pohja/KP	0.59
Tapio indeksi Y/X	Paksuus	Pohja/KP	-0.58
Tapio indeksi Y	Paksuus	Pohja/HP	-0.58
Tapio indeksi Y	Paksuus	Pohja/KP	-0.58

Molempien koeajojen tulokset yhdistettiin lopuksi samaan matriisiin (25 x 220). Tuloksien mukaan molempien lajien osalta vaikuttivat profiilien paksuus ja neliömassa tekijät yhdistettynä kiillon muuttumisella.

Taulukko 13. SCj- ja SCe-lajeilla superkalanterin pohjahylkyosuuteen vaikuttavien tärkeimpien tekijöiden korrelaatiot.

Mittalaite	Mittamenetelmä	Mittakohde	Korrelaatio
Tapio indeksi Y	Kiilto yläp.	Pohja/KP	0.73
Tapio	Paksuus	Pohja/ps-hajonta	-0.54

Taulukko 14. SCj- ja SCe-lajeilla kokonaispohjahylkyosuuteen vaikuttavien tärkeimpien tekijöiden korrelaatiot.

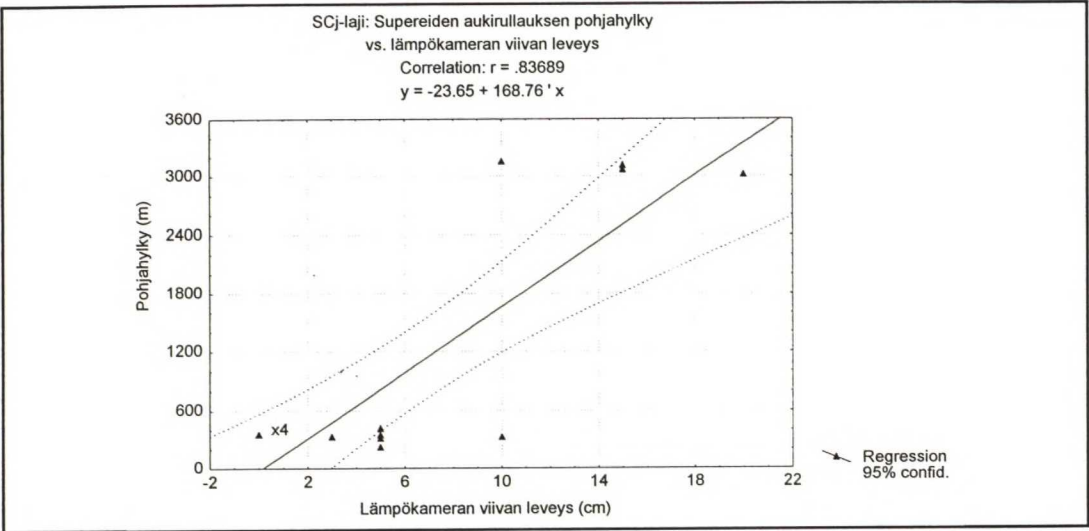
Mittalaite	Mittamenetelmä	Mittakohde	Korrelaatio
Pohjahylky	Metrit	Pituusleikkuri	0.92
Tapio indeksi X	Neliömassa	Pinta/HP	0.62
tapio indeksi Y^2/X	Paksuus	Pohja/KP	0.56
Tapio indeksi X	Neliömassa	Pinta/KP	0.50

12.2.3 Regressioanalyysi

Korrelaatioanalyysin jälkeen muodostettiin seurantakoeajon tulomatriisista lineaariset regressioanalyysit Statistica-tietojenanalysointiohjelmalla. Ohjelman rajallisen tekijämuistin takia jouduttiin matriisi jakamaan kategorioihin: mittamenetelmät ja kitkat, Tapio-mittaukset sekä reunaprofiilien muutokset. Tulokset ajettiin sekä ns. eteenpäin (forward) - että taaksepäin (backwards) askeltavilla menetelmillä.

Mallin hyvyttä voitiin karakterisoida R^2 -termillä eli pystyttiin arvioimaan vasteiden ja havaintojen lineaarisen käyttäytymisen todennäköisyyttä. Regressioanalyysien tulokset ovat taulukoituna liitteessä 5.

Regressioanalyysin osalta SCj-lajilla lämpökameralla pystyttiin määrittämään parhaiten mahdollinen pohjahyllyn syntyminen. Lämpöraidan leveys näytti antavan parhaimman tuloksen yksittäisenä tekijänä superkalanterin syntyvän pohjahyllyn suhteen (liite 5). Lisäksi kokonaishyllyn syntymiseen vaikutti pohjan neliömassan keskiarvo, mikä oli suurempi konerullan pohjalla kuin pinnassa. Paksuudella oli myös osittain vaikutusta lopputuloksiin.

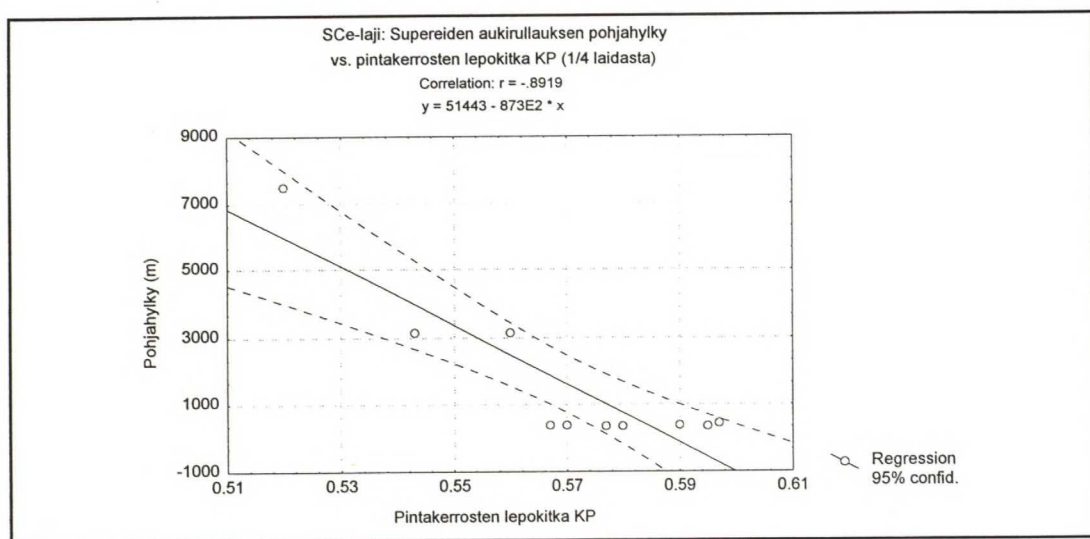


Kuva 43. SCj-lajilla superkalantereiden aukirullauksen pohjahylky konerullan jarrutuksessa ilmenevän lämpökameralla mitatun pohja-alueen lämpöraidan leveyden funktiona.

Taulukko 15. SCj-lajin koeajon mittatuloksien regressioanalyysien tulokset.

Mittalaite	Mittamenetelmä ja -kohde	R2-seli- tysaste	Beta- arvo	Pohjahylky
Vain 1. tekijä				
Lämpökamera	Lämpöraidan leveys	0.70	0.87	SK-hylky
Tapio	Pohjan neliömassa / keskiarvo	0.70	0.67	Kokonais-
Tapio ind. X	Pinnan neliömassa / HP	0.70	1.24	SK-hylky
Tapio ind. Y ² /X	Pohjan paksuus / KP	0.72	1.84	Kokonais-
2. tekijää				
Lämpökamera	Lämpöraidan leveys	0.88	0.87	SK-hylky
Staattinensähkö	Ennen vaihtoa / pinta / KP		-0.36	SK-hylky
Tapio ind. Y ² /X	Pohjan paksuus / KP	0.86	1.84	Kokonais-
Tapio ind. Y/X	Pohjan paksuus / KP		-0.95	Kokonais-

SCe-lajilla pohjahyllyn kanssa parhaimman vasteen antoi pintapaperin poikkisuunnassa käyttöpuolen neljännespisteen (2.5 metriä rainan reunasta) lepokitka. Tämä oli samansuuntainen tulos, minkä Lehtisalo (5) esitti diplomityössään. Hän otti näytteensä n. 1-1.5 metriä käyttöpuolen konerullan reunasta ja pinnasta. Näytteenottoa kohti sattui olemaan ainoa koeajon perusteella havaittu kohta, missä kitka-arvot korreloivat pohjahyllyn kanssa. Muista yhdeksästä mittauspisteestä on esitetty tulokset liitteessä 5.



Kuva 44. SCe-lajilla superkalantereiden aukirullauksen pohjahylly vs. pintakerrosten lepokitka 2.5 metriä käyttöpuolen laidasta.

Huomoiden kahden tekijän yhteisvaikutukset, niin tuloksista saatiin selitysasteeltaan parhaimmat tulokset. Käyttöpuolen pohja-alueen alapuolisen kiiltoprofiilin reuna-arvon poikkeaman kasvaminen keskiarvosta (Y-arvo) sekä hoitopuolen kiiltoarvojen yläpuolisen kiiltoarvon poikkeaman muutos kauempana rainan reunasta (X-arvo) antoi 98 % selitysasteen. Paksuudella ja lepokitkoilla oli vaikutusta pohjahyllyn syntymiseen.

Taulukko 16. S_{Ce}-laadulla tehtyjen regressioanalyysien tulokset.

Mittalaite	Mittamenetelmä ja -kohde	R ² -seli- tysaste	Beta- arvo	Pohjahylky
Vain 1. tekijä				
Lepokitka	Pinta / 1/4 HP	0.80	-0.74	SK-hylky
Tapio ind. Y	Kiilto alapuolinen / Pohja / KP	0.86	0.78	SK-hylky
Tapio ind. Y/X	Kiilto alapuolinen / Pohja /	0.84	1.30	SK-hylky
2. tekijää				
Lepokitka	Pinta / 1/4 HP	0.89	-0.74	SK-hylky
Lepokitka	Pohja / 1/4 KP		-0.38	SK-hylky
Tapio	Paksuus / Pohja / ps-hajonta	0.88	-0.84	SK-hylky
Tapio	Kiilto yläp. / Pohja / Max-min		0.63	SK-hylky
Tapio ind. Y	Kiilto alap. / Pohja / KP	0.98	0.78	SK-hylky
Tapio ind. X	Kiilto yläp. / Pinta / HP		0.51	SK-hylky
Tapio ind. Y/X	Kiilto alap. / Pohja / KP	0.96	1.30	SK-hylky
Tapio ind. Y ² /X	Paksuus / Pinta / HP		-0.53	SK-hylky

12.2.4 Konerullan pinnan ja pohjan väliset erot

Lajikohtaisen analysoinnin lisäksi saatiin selvitettyä konerullan pinnan ja pohjan väliset paperiteknisten arvojen eroavuudet SC_j- ja S_{Ce}-lajeilla. Tulokset ovat taulukoituna liitteessä 5.

SC_j-lajilla konerullan pohjanäytteiden mittaustuloksien arvot pienenevät lähinnä paperin kitkaominaisuuksien sekä paksuuden ja bulkin osalta. Kitkaominaisuuksien muutokset olivat suuruusluokaltaan n. 0.002-0.06 eli 2-12 %. Paksuuden keskiarvo pieneni n. 2 % sekä bulkin n. 5%.

Tuloksien perusteella voitiin otaksua pohjan liikkuvan Lehtisalon (5) esittämän mallin mukaan, sillä pohja-alueen kitka-arvot olivat selvästi pienemmät sekä poikkiratapofiilien hajonnat kasvoivat yleisesti pohjalla pintapaperiin nähden. Kitka-arvojen pieneminen johtuu kitkapinnan muovautumisesta sekä profiilien hajonta vastaavasti selittyy liikehdinnästä johtuvasta pintojen muovautumisesta.

SCe-lajilla liike- että lepokitkojen, paksuuden sekä neliömassan kone- että poikkisuuntaiset hajonnat pienenevät konerullan pohjalla. Bulkin menetys eli paperin tiheyden kasvaminen on noin 3.5 %. Neliömassassa ei tapahtunut muutoksia. Paksuuden, tiheyden ja kiillon- "max-min" -arvot suurenevät n. 10 % konerullan pohjalla otetuissa näytteissä verrattuna pintanäytteisiin. Kiiltoarvojen keskiarvot olivat pohjalla suuremmat kuin pinnassa, joka selittyy lähinnä radiaalipaineesta johtuvasta tasoittavasta efektistä.

12.3 Yhteenveto ja johtopäätökset

Seurantakoeajossa SCj- ja SCe-lajien välillä oli käyttäytymismallissa havaittavissa erilaisuutta. Yhtenäisinä tekijöinä ongelman osalta voitiin pitää paksuudessa ja neliömassassa tapahtuvia muutoksia.

SCj-lajilla lämpökamera paljasti pohjahylyn syntymisen kiinnirullaimella konerullan vaihdon jälkeisessä jarrutuksessa hoitopuolen päädyssä havaitun lämpöraidan avulla. Myös hoitopuolen radiaalipaine tampuuritelan ja alimman paperikerroksen välillä oli selvästi korkeampi hoitopuolella kuin käyttöpuolella. Kokonaishylkyyn vaikutti voimakkaimmin paksuuden ja neliömassan muutokset.

SCe-lajilla pohjahylyn syntymisen yhteydessä tapahtui paksuus-, tiheys- ja kiiltoarvoissa muutoksia. Kitka-arvoilla näytti olevan huomattavasti suurempi merkitys pohjahylyn suhteen kuin SCj-lajilla.

Profiilien hajontojen pieneminen eli rainan tasoittuminen vaikutti pohjahylkyä kasvattavasti. Hajonnan parantuminen selittyy suurilta osin reuna-alueiden tasoittumisella lähemmäksi keskiarvotasoa.

Verrattaessa SCj-lajin pohjan ja pinnan välisiä näytteitä, todettiin bulkin pienenevän n. 5 %, kitkalukuarvojen n. 2-12 % sekä vastaavasti neliömassan keskiarvon kasvavan 2-3 % pohjalla.

SCe-lajilla liike- ja lepokitkan, paksuuden, neliömassan sekä kone- että poikkisuuntaiset hajonnat pienenevät pohjalla. Vastaavasti paksuuden ja tiheyden max-min-arvot kasvoivat pohjalla, mikä voi olla seurausta epätasaisesta poikkisuuntaisesta puristuspaineesta konerullan sisäkerroksissa.

Johtopäätökset: Seurantakoeajon tulosten perusteella voitiin epäillä ongelman aiheuttajaksi lähinnä reunoissa tapahtuvaa rainan paperiteknisten ominaisuuksien muutosta. Molemmilla lajeilla paksuuden reuna-arvojen poikkeamat pienenevät lähemmäksi keskiarvoa (normaalisti n. 3-4 mikrometriä paksummat) reunan kiiltoarvojen kasvaessa lähemmäksi keskiarvoa (normaalisti keskiarvoa alhaisemmat). Lisäksi neliömassan ja tiheyden x-arvot kasvoivat negatiiviseen suuntaan eli reunat muodostuivat tiheydeltään ja neliömassaltaan alhaisemmiksi kuin loppuosa rainasta.

13 POHJAHYLYN SYNTYMISHYPOTEESI

13.1 Yleistä

Työn aloittamisesta hypoteesin muodostamiseksi kului lähes kahdeksan kuukautta, jonka aikana pohjahyllyn muodostumista pyrittiin selvittämään sekä mekaanisten toimintojen, tilastollisen tarkastelun että prosessiteknisten tarkastelujen avulla. Havaintojen perusteella koottiin hypoteesi pohjahyllyn syntymisestä.

13.2 Pohjahylyn syntymisen syy

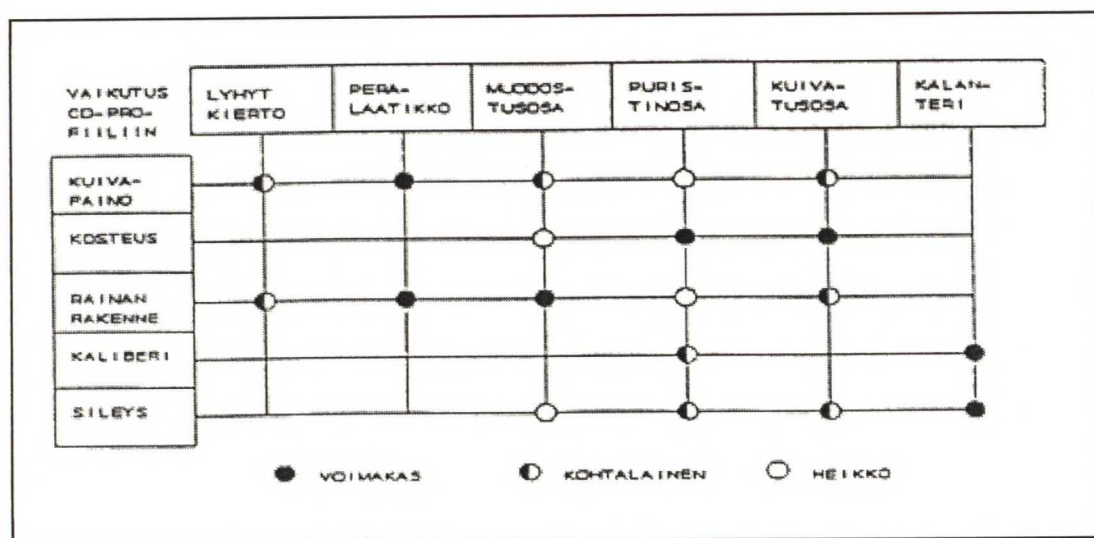
Pohjahylyn syntymishypoteesia varten tehtiin em. selvitysten perusteella seuraavanlaiset johtopäätökset:

1. Tilastollisessa tarkastelussa (kappale 11) havaittiin ongelman ilmentymisen yhteydessä radan poikkisuuntaisen neliömassan hajontojen (ennen ja jälkeen kostutuksen) kasvavan pohjahylyn ilmentyessä.
2. Seurantakoeajojen mukaan (kappale 12) Tapio-analyssaattorilla analysoiduissa pintanäytteen profiilien reunaindekseissä tapahtui muutoksia pohjahylyn ilmentyessä. Muutokset indikoituivat reunapaksuuden pienentymisenä (normaalisti paksummat) sekä neliömassan alenemisena reuna-alueilla.
3. SCe-lajilla havaittiin lämpökameran indikoivan pohjahylyn syntymistä.
4. SCj-lajilla havaittiin kitka-arvojen vaikuttavan pohjahylkyyn vain tietyssä kohtaa (pintanäyte, n. 2.5 metriä käyttöpuolen reunasta)
5. Aallon (25) tekemän tutkimuksen mukaan konesuunnassa havaittiin voimakkaampaa tuhkapitoisuuden vaihtelua, suurempaa hajontaa neliömassassa ja kosteuden sekä vetolujuuden ja repäisyjuuuden tason alenemista.
6. TAPPI rullausvikataulukon (26) mukaan ns. "reunarisa" syntyy reuna-alueen profiilivirheistä.

Yhdistämällä havainnot 1, 2, 5 ja 6. voitiin aina havaita paperirainan poikkisuuntaisilla paksuuden ja neliömassan profiileilla olleen vaikutusta pohjahylyn syntymiseen. SCj-lajilla lämpökamera indikoi parhaiten pohjahylyn syntyä. Vastaavasti SCe-lajilla kitka-arvot olivat dominoivimpia. Tilastollisen analyysin mukaan pohjahylyn syntyminen ei ollut ainoastaan SCe-lajin ongelma, vaan molempien lajien suhteen pohjahylyn määrät olivat yhtä suuret. Koska profiilit indikoivat selvimmin pohjahylyn suhteen, niin *hypoteesin kannalta* oletettiin sen olevan *vaikuttavin tekijä pohjahylyn suhteen*. Hypoteesi päätettiin todentaa erillisellä koeajolla.

13.3 Hypoteesiin vaikuttavat prosessitekijät

Paperin tasalaatuisuus riippuu oleellisesti siitä kuinka homogeenisesti ja tasavahvana massasuspensio pystytään levittämään viiraosalle ja kuinka stabiilisti vedenpoisto ja suotautuminen viiraosalla tapahtuvat. Paperin tasaisuutta arvostellaan pääasiassa kolmella neliöpainon eri hajonnan osatekijällä: konesuuntaisella, poikkisuuntaisella ja jäännösvaihtelulla. Lyhyt kierto vaikuttavat voimakkaasti lähinnä konesuuntaisiin vaihteluihin. Poikkiprofiiliin vastaavasti vaikuttaa perälaatikko ja heikommin lyhyt kierto, rainan muodostusosa ja kuivatusosa. Paksuuteen vaikuttavat märkäpuristus ja kalanterointi (27).



Kuva 45. Joidenkin poikkisuuntaisten laatusuureiden periaatteellinen riippuvuus koneen eri osaprosesseista (27).

Kokeissa haluttiin vaikuttaa sekä neliömassaan että paksuuteen, joten muutettavaksi hallintaparametriksi hypoteesin varmennukseen valittiin märkäpuristus. Valintaa tuki tieto koneen ajamistavasta, jossa märkäpuristusta säädetään päivittäin mahdollisten katkotilanteiden ilmentyessä.

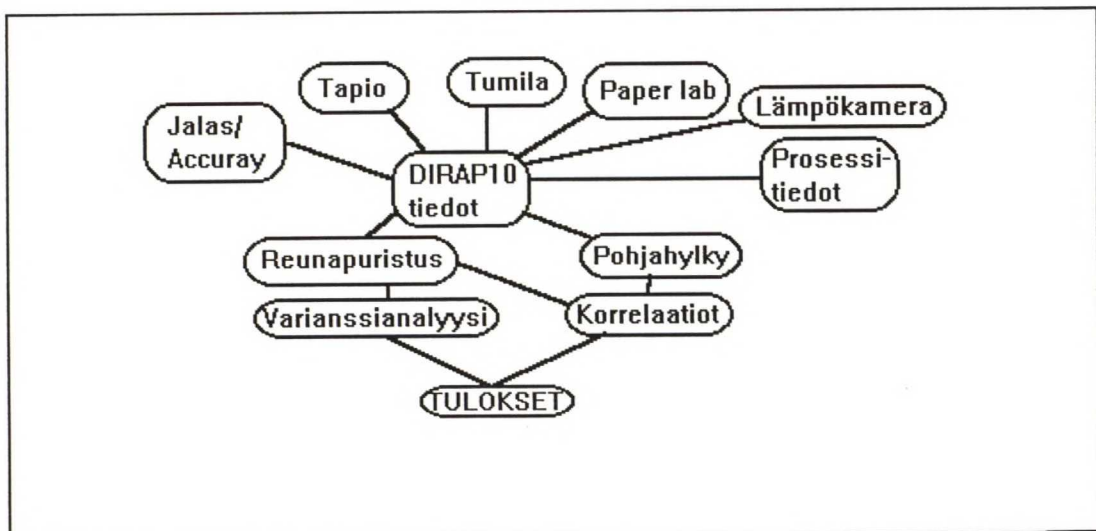
14 HYPOTEE SIN VARMENNUS

14.1 Yleistä

Hypoteesin varmennuskoeajon tavoitteena oli tutkia reunaprofiilien vaikutusta pohjahylyn muodostumiseen. Lisäksi tutkittiin edelleen lämpökameran käyttöä konerullissa tapahtuvien siirtymien havainnointiin.

Normaaliolosuhteissa kolmatta ja neljättä märkäpuristinta ajetaan noin 5-15 % reunakevennyksillä vakioviivakuormituksen saavuttamiseksi puristinnipissä. Paksuuteen haluttiin vaikuttaa koeajon aikana reunojen osalta lisäämällä reuna-alueiden puristusta eli pienentämällä reunakevennystä.

Koeajossa seurattiin konerullien muodostumista lämpökamerakuvauksen avulla. Paperitekniisiin mittauksiin otettiin yli 20 kappaletta poikkiratanäytteitä konerullan pinnasta rullaimella sekä toiset 20 kappaletta konerullan pohjasta SC:n aukirullauk-



Kuva 46. Varmistuskoeajon tulosten käsittelymalli

nessa. Poikkiratanäytteistä määritettiin Tapio-analysaattorilla paksuus-, tiheys-, neliömassa, kiilto- ja transmissioprofiilit sekä kitka-arvot kolmesta eri kohtaa poikkirataa. Lisäksi pohja- sekä pintanäytteistä ajettiin Paper Lab-profiilit.

Tulokset analysoitiin puristusefektin suhteen varianssianalyysillä sekä muodostettiin korrelaatiot. Kaikki tulokset yhdistettiin yhdeksi matriisiksi ja konerullat analysoitiin pohjahylyn funktiona korrelaatioanalyysillä.

14.2 Koeajojärjestelyt

Hypoteesin varmentamiseksi valittiin mittausmenetelmiksi seuraavat mittalaitteet: Lämpökamera, Tumila-kitkamittaus, Tapio-analysaattori sekä Autolab-poikkiprofiilimittaus. Mittamenetelmistä tarkemmin kappaleessa 10 ja liitteessä 2.

Esikokeiden tavoitteena oli oikean märkäpuristuspaineen löytäminen pääkokeita varten. Ajo-ohjelmassa oli ko. päivinä SCj-laji.

Reunaprofiilien muutos toteutettiin reuna-alueiden osalta muuttamalla kolmannen ja neljännen puristimen reuna-alueiden puristuksia. Normaalitilanteessa puristimia kevennettiin reunoilta, jolloin telan taipuma huomioitiin puristusprofiilissa. Kokeen tarkoituksena oli lisätä puristusta reunoilta, jotta rainan reunapaksuus pienenisi ja aiheuttaisi pohjahylkyä. Tarkoituksena oli ajaa aluksi kolme normaaliajotilanteen konerullaa ja siirtyä yhden konerullan aikana reunapuristustilanteeseen. Tämän ajoreseptin mukaisia konerullia olisi ajettu kuusi kappaletta, jonka jälkeen oltaisiin siirrytty takaisin normaalikevennyksiin märkäpuristimilla ja ajettu lopuksi kolme normaalitilanteen koepistettä. Koesuunnitelman mukaan tarkoituksena oli saada kaksitoista koepistettä koesarjaan. Käytännössä puristusmuutos aiheutti paperikoneella ajettavuusongelmia, minkä takia reunapuristussarjaan saatiin ajettua vain 6 koepistettä.

Koeajojen aikana pyrittiin vakioimaan rullausparametrit, vetoerot kaikissa väleissä,

neliömassa- ja kosteustaso sekä superkalanteripohjien toteutuminen ja kirjaamaan tarkka hylkyluokitus. Mittaustulokset taulukoitiin konerullakohtaisesti. Superkalanterin ja pituusleikkurin ajoraporteista selvitettiin hylkymetrit ja laskettiin kokonaishylkymetrit.

Mittauksien ja näiden johdannaisarvot ovat taulukoituna liitteessä 6. Matemaattiseen tulosten käsittelyyn saatiin n. 200 muuttujaa selvittämään pohjahylyn muodostumista.

14.3 Esikokeet

Esikokeiden tavoitteena oli oikean puristuspaineen löytäminen pääkokeita varten. Kokeet suoritettiin Tapio-analyysin sekä profiilimittauksen arvojen muutoksia seuraamalla.

Tapio-analyssaattorin tuloksien perusteella havaittiin puristuksen vaikuttavan paksuuteen ja tiheyteen lähinnä käyttöpuolella. Vastaavasti neliömassaprofiili heikkeni hoitopuolelta (HP/X). Profiilien muutoksista voitiin todeta puristusefektin toimivan

Taulukko 17. Esikokeiden reuna-arvojen tulokset normaali- ja reunapuristuksen aikana Tapio-analyssaattorinäytteistä.

Konerulla	Tapahtuma	HP/X	KP/X	HP/Y	KP/Y	KA Indeksi
7028	Normaalipuristus	[m]	[m]			
	Paksuus [μm]	0,5	0,25	1,23	1,64	100
	Neliömassa [g/m^2]	1,0	0,42	-0,31	-,031	100
	Tiheys [kg/m^3]	0,75	0,5	-10,3	-9,71	100
7030	Reunakevennys					
	Paksuus [μm]	0,42	1,0	0,61	-1,23	99.5
	Neliömassa [g/m^2]	4,58	0,58	-0,51	-0,51	100
	Tiheys [kg/m^3]	0,58	0	-8,21	0	100.4

selvästi paperikoneen käyttöpuolella. Hoitopuolella ei saavutettu haluttua tulosta. Muutos mitä luultavimmin peittyi neliömassaprofiilin vinouteen. Paksuuden, neliömassan ja tiheyden keskiarvoihin ei reunapuristuksen muutos vaikuttanut.

Hajontojen suhteen todettiin esikokeiden epäonnistuneen, sillä haluttu efekti olisi ollut niiden pieneneminen puristuskäyttämisen muuttuessa. Esikokeiden osalta hajonnat suurenivat. Suurimmaksi syyksi hajontojen muuttumiselle epäiltiin neliömassaprofiilin huononemista.

Taulukko 18. Esikokeiden konerullatiedot Accurayn mittajärjestelmästä.

		Normaalipuristus	Reunapuristus
K-arvot	Kosteus*	100	100
(ennen kostutusta)	Kosteuden hajonta	0.27	0.31
	Kuivamassa*	100	100
	Kuivamassa haj.	0.14	0.15
R-arvot	Kosteus*	100	98.9
(jälkeen kostut.)	Kosteuden hajonta	0.16	0.17
	Neliömassa*	100	99.6
	Neliömassan haj.	0.25	0.27
Paksuus*		100	99.9
Hylkymetrit		396	401

* = indeksoitu arvo normaalipuristuksen suhteen

Esikokeiden perusteella päätettiin jatkaa kokeita pääkokeilla vaikkakin esikokeiden tulokset eivät olleet kuin rainan toiselta reunalta halutunlaiset.

14.4 Pääkokeet

Pääkokeet pyrittiin suorittamaan seuraavana päivänä koejärjestelyssä esitetyllä tavalla. Pääkokeiden reunapuristukseen siirryttyä saatiin rullattua kaksi täyttä konerullaa, jonka jälkeen alkoivat ajovaikeudet. Viidennestä katkosta saatiin vihdoinkin kolmas koepiste

ja samalla todettiin, että on parempi siirtyä takaisin normaaliin ajo-olosuhteisiin eli reunakevennykseen. Siirtymisen jälkeen ei paperikoneella enää ilmentynyt ratakatkoja.

Pohjahylyn suhteen reunapuristuskoe epäonnistui. Tilanteessa, missä oletettiin syntyvän pohjahylkyä, ei syntynytäkään. Toisaalta tilanteessa missä ei olisi pitänyt syntyä, syntyikin hylkyä. Tämä ilmiö vaikeutti tulosten käsittelyä ja hypoteesin varmennusta. Tuloksiin päästiin analysoimalla koetuloksen pohjahylkymetriren suhteen.

Koetulosten luotettavuus kärsi myös liian pienen otannan takia. Molempiin puristusoloihin saatiin ajettua vain kolme koepistettä tavoitteena olleesta kuudesta.

14.4.1 Varianssianalyysi reunapuristuksen suhteen

Varianssianalyysin perusteella löydettiin 33 alle 10 prosentin riskitasolla olevaa muuttujaa pohjahylyn suhteen. Näistä muutoksista osa oli ns. johdannaisia toisille muutoksille. Tulokset ovat listattuna liitteessä 6 sekä tärkeimmät taulukossa 17.

Analyysin mukaan tapahtui seuraavanlaisia muutoksia:

1. Paksuuden keskiarvo konerullan pohjalla pieneni noin 0.2 % reunapuristuksen yhteydessä.
2. Konerullan pintanäytteen neliömassan hajonta kasvoi noin 10-15 % reunapuristuksen yhteydessä.
3. Reunapuristuksessa rainan pinnan bulkki oli noin 1.5 % korkeampi, mikä edelleen vaikutti konerullassa tapahtuvaan pohjapaperin kokoonpuristuvuuteen ja sitä kautta pohjan tiheyden kasvuun.
4. Paperin kitkoissa suurin havaittava muutos oli konerullan keskiosan lepokitkan pieneneminen noin 3 % konerullan pohjalla. Liikekitka pysyi vakiona.

Taulukko 19. Varianssianalyysin perusteella alle 10 % riskitasolla olevat muuttujat reunapuristuskoeajossa.

Mitta- menetelmä	Mittakohde	Mitta-arvo	Normaali	Puristus	P (%)	Muutos (%)
Paksuus						
Tapio	Pohja	Keskiarvo	100*	98.7*	2	-1
Tapio	Pinta	ps-hajonta	0.49	0.44	2	-10
Tapio	Pinta - pohja	Keskiarvo	3.21	4.00	4	25
Tapio	Pinta	Keskiarvo	100*	99.6*	5	0
Tapio ind.	Pinta	HP / X	1.64	0.69	6	-58
Paper Lab	Pinta	Hajonta	1.33	1.07	7	-20
Neliömassa						
Tapio ind.	Pohja	KP / Y	-0.41	0.05	2	87
Tapio ind.	Pohja	KP / X	0.72	0.14	5	-81
Paper Lab	Pinta	hajonta	0.33	0.43	10	30

* = indeksoituja lukuja

- Konesuuntaiseen murtoon vaikuttava työ oli tässä tapauksessa ristiriitainen, sillä pohjalla murtotyön hajonta pieneni vastaavasti arvon kasvaessa konerullan pinnalla.
- Puristuksen seurauksena konesuuntaisen venymän hajonta pieneni 25 %:a konerullan pohjalla. Ilmiö on samansuuntainen kuin murtotyössä tapahtunut muutos. Vastaavasti konesuuntaisen vetolujuuden hajonnan pinnan ja pohjan välinen erotus kasvoi voimakkaasti.
- Konerullan reunojen lämpeneminen sen jarrutuksen yhteydessä selvästi aiheutti konerullan päätyyn leveämmältä alueelta lämpenemistä. Ilmiö johtui paksuuden reunaprofiilin muutoksesta ohuemmaksi. Myös kuivan paperin kosteuden hajonta kasvoi siirryttäessä reunapuristukseen.

Tuloksien perusteella ei löytynyt selittävää tekijää, miksi katkot eivät ilmentyneet määrän pohjan konerullissa vaan vasta seuraavassa normaalin pohjan konerullassa. Mitä luultavimmin syy tähän käyttäytymiseen oli määrän pohjan pehmeystä johtuva pohjan muotoutuminen, jolloin rainan profiilivirheet eivät aiheuttaneet pohjan vioittumista.

14.4.2 Korrelaatiot reunapuristuksen suhteen

Varianssianalyysin lisäksi määritettiin korrelaatioanalyysi reunapuristusparametrin funktiona. Korrelaation tulokset ovat taulukoituna liitteeseen 6. Taulukkoon 20 on kerätty kaikki tärkeimmät muuttujat sekä niiden tulkintaan käytetyt arvot.

Taulukko 20. Reunapuristuksessa muuttuvat muuttujat ja niiden korrelaatiot.

Mittalaite	Mittamenetelmä	Mittakohde	Korrelaatio
3&4.puristin arvot	Asetusarvot	Reunakevennys	1.00
Tapio indeksi Y	Tiheys	Pinta / HP	-0.95
Paper Lab	Karheus yläpuolinen	Pohja / hajonta	-0.90
Tapio	Tiheys	Pohja / KA	-0.90
Kitka	Lepo-liikekitka ero	Ero pohja-pinta	0.89
Paper Lab	Murto ks ero	Pohja-pinta/Haj.	-0.89
Tapio indeksi Y	Neliömassa	Pohja / KP	-0.89
Kitka	Lepokitka	Ero pohja-pinta	-0.88
Tapio	Paksuus	Pohja / KA	-0.88

Korrelaatioanalyysin mukaan tapahtui seuraavanlaisia muutoksia:

1. Tiheys muuttui reunapuristuksen yhteydessä kasvaettaen pohjan keskiarvoa sekä pinnan hoitopuolen y-arvoa (HP/Y).
2. Konerullan pinnan ja pohjan välinen paksuuden keskiarvojen ero kasvoi, mikä lähinnä johtui pohjan keskiarvon pienentymisestä. Lisäksi pintarainan poikkisuuntainen hajonta kasvoi.

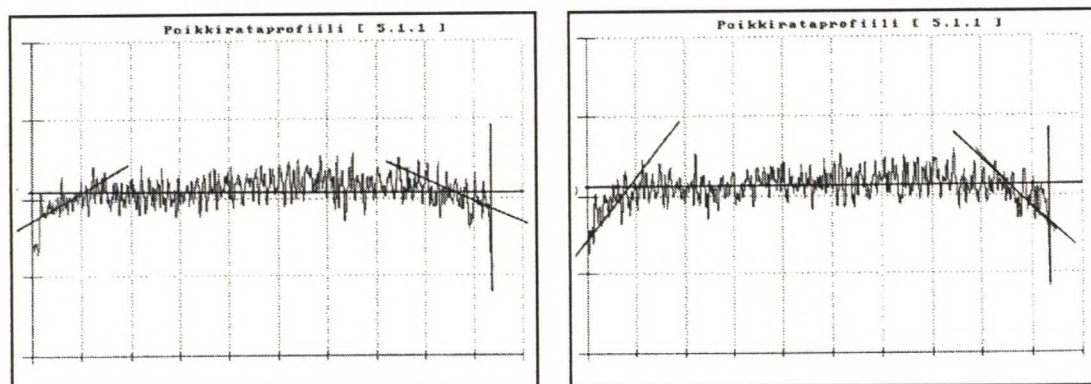
3. Korrelaatioidenkin mukaan kitkoista tärkeimmät olivat keskialueen kitkamuutokset. Lepokitkoista pinnan ja pohjan välinen erotus kasvoi lähinnä pinnassa tapahtuneen lepokitka-arvojen kasvun myötä.

Tietyin varauksin voidaan todeta korrelaatioanalyysin antavan samansuuntaisia tuloksia kuin varianssianalyysin. Pohjahylkyhypoteesin kannalta tämä analysointi ei antanut kokeen osalta haluttua tulosta.

14.4.3 Korrelaatiot pohjahyllyn suhteen

Tuloksien käsittelyä jatkettaessa pohjahyllyn funktiona piti koepisteiden tulokset yhdistää yhdeksi kokonaiseksi tiedostoksi. Vasteiksi valittiin superkalanterin pohjahylky sekä kokonaishylky. Tiedosto analysoitiin traditionaalisella korrelaatioanalyysillä hylkymetriren suhteen. Tulokset olivat molempien hylkyosuuksien suhteen lähes samanlaiset. Tarkemmat listaukset löytyvät liitteestä 6.

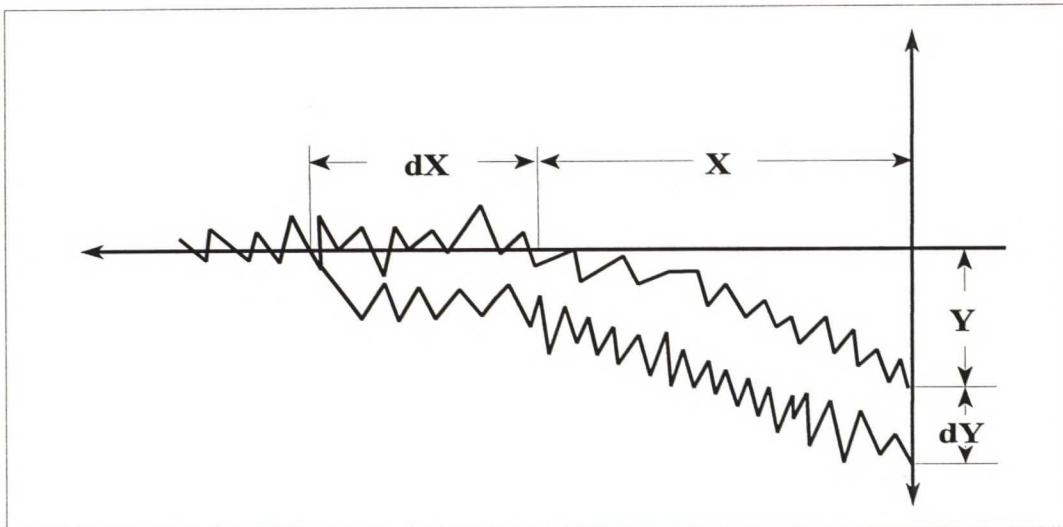
NELIÖMASSA- Pohjan hoitopuolen HP/y-arvon poikkeama keskiarvosta suureni ongelmatilanteessa n. -0.25 - 0 g/m^2 :sta -0.75 - -0.3 g/m^2 :een. Käyttöpuolen vastaava muutos oli n. -0.3 - 0 g/m^2 :sta -0.5 - -0.25 g/m^2 :een.



Kuva 47. Neliömassassa tapahtuneet reunaprofiilien muutokset pohjahyllyttömän konerullan (vasen) ja pohjahyllyllisten (oikea) välillä.

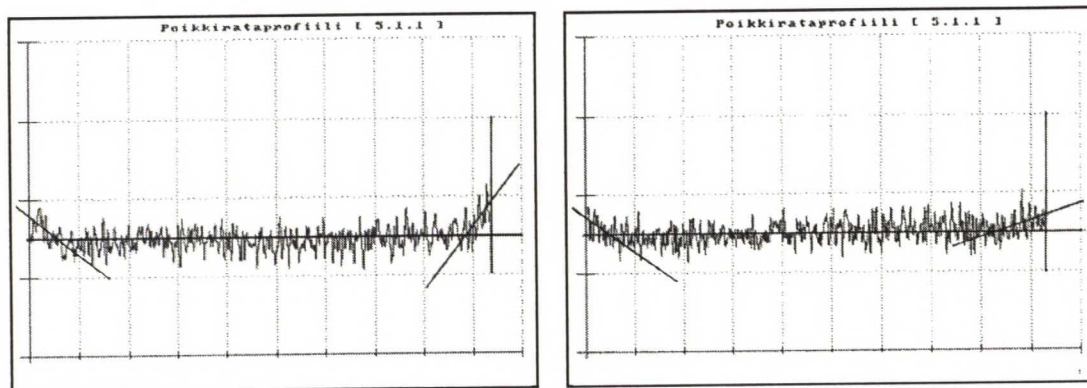
Tämä muutos vaikutti edelleen pinnan ja pohjan hoitopuolen HP/y-arvojen erotukseen. Normaalitilanteessa erotus oli negatiivinen ($-0.2-0 \text{ g/m}^2$), kun vastaavasti pohjahylyn ilmentymisen yhteydessä luku oli positiivinen (n. $0.3-0.8 \text{ g/m}^2$). Tämä indikoi pohjanäytteen y-arvojen pienenemistä. Tulosten perusteella neliömassan y-arvo oli pohjahylkytilanteessa pohjanäytteillä n. $-0.3 - -0.8$. Pinnassa neliömassan y-arvo oli lähes nollassa. Käytännössä erotuksen muutos merkitsee pohjalla olevan paperirainan reunojen neliömassan pienenemistä.

Lisäksi tätä hoitopuolen y-arvon suurenemista tukee tulos, jonka mukaan pinnan ja pohjan välinen hajontojen erotus kasvoi. Normaaliajotilanteessa hajonta oli pinnassa hieman suurempi ($0-0.1$), kun vastaavasti ongelmatilanteessa tilanne oli toisinpäin ($-0.2-0$). Lisäksi neliömassan pinnan ja pohjan erotus hoitopuolen x-arvon osalta pieneni normaalitilanteen $0-0.5$:stä ongelmatilanteen $-0.4 - -1.2$:een. Näiden tulosten perusteella voitiin päätellä, että varsinkin käyttöpuolella reuna-alue modifioituu neliömassan osalta kuvan 48 mukaisesti.



Kuva 48. Neliömassan poikkisuuntaisessa profiilissa tapahtuva muutos (dX ja dY) pohjahylyn esiintymisen yhteydessä verrattuna normaaliin ajotilanteeseen.

PAKSUUS - pohjan poikkisuuntainen hajonta pieneni ongelmatilanteessa, mikä ilmeni reunan x-arvojen pientymisellä. Muutos oli voimakkaampi käyttöpuolella (kuva 49). Reuna-alueiden paksuuden lisäys keskiarvoon nähden oli koeajon tulosten perusteella normaalisti n. 1.5-3 mikrometriä. Pohjahylyn yhteydessä ko. arvot muuttuivat varsinkin käyttöpuolella alhaisemmiksi (n. 0.5-1.0 μm). Liitteessä 10 lasketun "karkean" laskentamallin mukaan 100 μm :n paksuisessa paperissa 3 μm :in muutos pienentää huomattavasti radiaalipuristusta, mikä edelleen vaikuttaa rullan muodostuksessa poikkisuuntaisen radiaalipaineen tasaisuuteen ja riski kasvaa muodostaa viallinen rulla.



Kuva 49. Paksuudessa tapahtuva poikkisuunnan reunaprofiilien muutokset pohjahyllyttömän (vasen) ja pohjahyllyllisen (oikea) tilanteen välillä.

Paksuuden pieneminen tapahtui samanaikaisesti reunan neliömassan alenemisen yhteydessä, jolloin huokoisuus ja kuituverkoston kokoonpuristuvuus puristuksen aikana kasvoivat.

Paksuuden pinnan ja pohjan hajontojen erotus sekä pohjan poikkisuuntaiset hajonnat pienenevät pohjahylkytilanteessa. Hajonta oli normaalitilanteessa pinnalla pienempi, mutta pohjahylyn yhteydessä toisinpäin. Kokonaishajontojen pinnan ja pohjan välinen erotus oli hyvän tilanteen vallitessa negatiivinen (pinta <1.2 ja pohja >1.1). Pohjahylkytilanteessa erotus muuttui positiiviseksi (pinta >1.2 ja pohja <1.1).

KITKAOMINAISUUDET - Tärkein yksittäinen muutos oli lepokitkan keskiarvon muutos pinnan keskialueella. Tämä edelleen vaikutti lepokitkan pinnan ja pohjan keskiarvon erotukseen sekä lepo-liikekitkojen keskiarvojen erotukseen pinnassa.

Lepokitka konerullan pinnassa pieneni, mikä edelleen vaikutti lepo-liikekitkan erotukseen sekä pohjan ja pinnan lepo-liikekitkojen erotuksien eron pienentymiseen ongelmatilanteessa. Käytännössä tämä merkitsi, että lepokitkan pienentymisellä koko konerullassa oli vaikutusta mahdollisen konerullan pohjan helpommalle liikahtamiselle. Kirjallisuuden mukaan lepokitkan pieneneminen kuvaa mahdollista liikahtamista konerullan sisällä (5).

Taulukko 21. Konerullan raina poikkisuunnassa keskialueen kitka-arvojen eroavuudet normaalin ja pohjahylkytilanteen välillä.

Tilanne	Pinta/pohja	Lepokitka/	Lepo-liikekitka	Lepokitka
		Pinta.	Ero pinnassa	Pinta-pohja
Normaali	Pinta	0.56-0.58	0.17-0.18	
Normaali	Pohja	0.51-0.53	0.13-0.17	0.01-0.05
Pohjahylkyä	Pinta	0.50-0.54	0.11-0.15	
Pohjahylkyä	Pohja	0.52-0.54	0.15-0.16	-0.01-0.01

VETOLUJUUS - konesuuntainen vetolujuuden pinnasta otetun poikkiratanäytteen hajonta pieneni ongelmatilanteessa. Vastaavasti pohjan hajonta kasvoi samanaikaisesti. Korrelaatio ei ollut niin vahva pohjan kuin pinnan osalta. Keskiarvot olivat sekä pohjalla että pinnalla lähes samansuuruiset.

Käytännössä hajonnan pieneneminen pinnassa tarkoitti reunojen vetolujuusarvojen lähestymistä radan poikkisuuntaista keskiarvotasoa kohden sekä keskikohdissa tapahtuvien vaihteluiden vaimenemista. Pohjaprofiilien osalta näytti, että radan keskialueen käyttöpuolen suuntaan olevalla kohdalla saavutettavan vetolujuuden maksimikohta (n. 15-20 % keskiarvoa korkeampi). Ongelmatilanteessa maksimikohdan arvo oli alempi.

Taulukko 22. Paperirainan vetolujuus konesuunnassa

Tilanne	Pinta/pohja	Keskiarvo	Hajonta
Normaali	Pinta	100-101.2*	0.14-0.16
Normaali	Pohja	101.2-103.3*	0.09-0.10
Pohjahylkyä	Pinta	100-100.4*	0.09-0.14
Pohjahylkyä	Pohja	99.2-102.6*	0.12-0.16

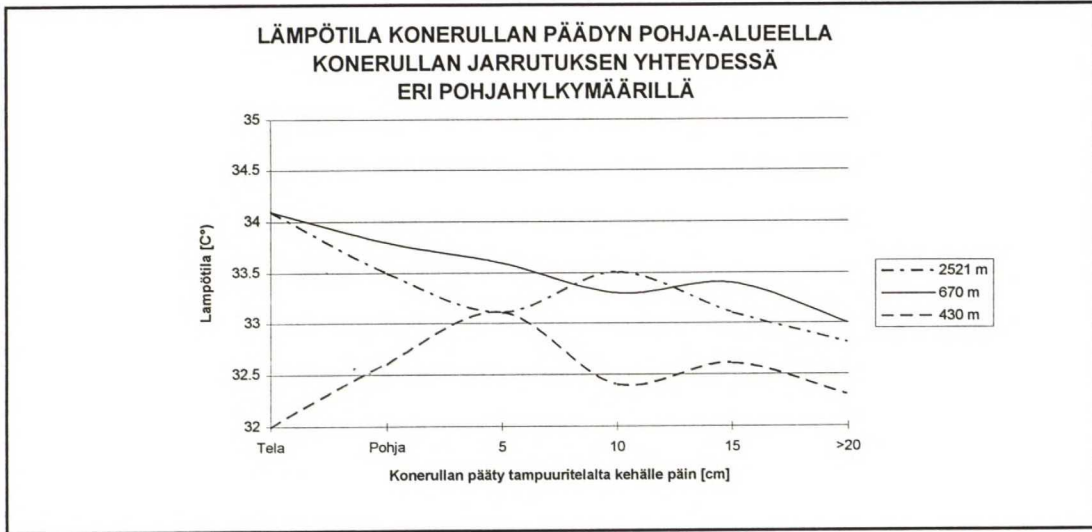
* = indeksoituja lukuja

14.5 Lämpökamerakuvaus

Reunaprofiilimuutosten lisäksi tarkoituksena oli tutkia edelleen lämpökamera-kuvauksen merkitystä konerullissa tapahtuvien siirtymien havainnointiin.

Konerullan hoitopuolen kylkeä kuvattiin jarrutusvaiheessa rullaimella. Voimakkainta lämpeneminen oli kiinnirullaimella jarrutusvaiheen lopussa. Puristinkokeen osalta voitiin todeta konerullan päätyjen lämpenevän reunapuristuskoepisteissä. Tämä johtuu siitä, että reunan puristaminen teki rullan reunasta huokoisemman, jolloin lämpö johtui helpommin rullan päädyn kautta ulos (liite 6).

Normaalityyppisen puristuksen koepisteisiin syntyi kaksi pohjaa: 670 ja 2521 metriä. Näissä pisteissä havaittiin lämpenemistä konerullan pohja-alueella. Kuvan mukaan ns. ison pohjan syntymisen yhteydessä konerullan kylkeen muodostui n. 10 senttimetrin kohdalla lämpöraita. Pienemmän ongelmapohjan tapauksessa lämpötila oli noussut samalle tasolle kuin ison pohjan tapauksessa, mutta minkäänlaista lämpöraita ei syntynyt.



Kuva 50. Lämpötilan käyttäytyminen konerullan päädyn pohjalla rullaimella tapahtuvan jarrutusvaiheen yhteydessä.

14.6 Koeajon yhteenveto ja johtopäätökset

Esitetyn ja varmistuskoeajon perusteella reunaprofiilihypoteesille saatiin varmennus pohjahylkytilanteen osalta koeajon aikana kerättyjen mittaustulosten perusteella. Pohjahyllyn syntymisen suhteen reunapuristuksella ei ollut merkitystä, vaan muutos on peräisin jostakin muusta paperikoneen osasta.

Reunapuristuksen avulla ei pystytty aiheuttamaan pohjahylkyä. Tuloksien käsittelyä varten jouduttiin kaikki koepisteet yhdistämään yhdeksi tiedostoksi. Tiedot analysoitiin korrelaatioanalyysillä pohjahyllyn suhteen. Tulokset sekä superkalanteri- että kokonaishyllyn suhteen olivat samansuuntaiset.

Neliömassan poikkiprofiilin reunapoikkeama suureni keskiarvoon nähden varsinkin hoitopuolella normaalitilanteen $-0.24 - 0 \text{ g/m}^2$:n poikkeamasta ongelmatilanteen $-0.76 - -0.32$:een. Tämä tulos tuki havaintoa, että pinnan ja pohjan välinen hajontojen erotus kasvoi. Normaalitilanteessa hajonta oli pinnassa hieman suurempi, kun taas ongelmatilanteessa tilanne oli toisinpäin. Pinnan neliömassan hajonta pysyi koko ajan

samansuuruisena.

Paksuuden suhteen poikkisuuntainen hajonta pieneni voimakkaimmin pohjahylkytilanteessa konerullan pohjalta otetuista näytteistä. Nämä edelleen vaikuttivat erilaisiin paksuuden hajontojen erotuksiin.

Pinnan lepokitkan keskiarvo pieneni paperirainan keskialueella pohjahylkytilanteessa. Muutoksella oli edelleen johdannaisvaikutusta laskettaessa erilaisia kitkojen erotuksia konerullan keskialueelta. Lepokitkan pientyminen korreloi pohjan mahdollisen liikkumisen todennäköisyyden kasvun kanssa.

Vetolujuuden poikkisuuntainen hajonta pieneni ongelmatilanteessa konerullan pinnalta otetuissa rainanäytteissä. Käytännössä hajonnan pieneneminen pinnassa tarkoitti reunojen vetolujuusarvojen lähestymistä radan poikkisuuntaista keskiarvotasoa sekä keskikohtien vaihteluiden vaimenemista.

Tuloksien perusteella reunaprofiilihypoteesi varmentui tietyin varauksin. Muutokset olivat seuraavanlaiset pohjahylyn ilmenemisen yhteydessä:

1. Käyttöpuolella rainan reunan paksuus läheni keskiarvoa (myös hoitopuolella)
2. Hoitopuolella rainan neliömassa pieneni keskiarvoon verrattuna (myös käyttöpuolella)
3. Tulevan rainan (pintanäyte) keskikohdan lepokitka pieneni, jolloin koko konerullan lepokitkataso oli alhaisempi ja ns. nyrjähtämisvaara suurempi.
4. Reunojen vetolujuus kasvoi. Tämä indikoi mahdollisesta reunojen nopeammasta kuivumisesta (alhaisempi neliömassa), mikä edelleen aiheutti reuna-alueen kuivumisen normaalia korkeamman venytyksen alaisuudessa. Rainan venytys vetoerojen kasvattamisen myötä paransi paperin vetolujuutta.

15 TULOSTEN LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI

Työn aikana käytettiin pohjahylyn syntymekanismin ratkaisemiseksi hyvin monia eri analysointimenetelmiä.

Tilastollisessa analysoinnissa virheitä saattoivat aiheuttaa paperikoneen miehistöraporttien väärät merkinnät sekä tämän työn yhteydessä tehdyt väärät tulkinnat. Analysoitaessa muilla tilastollisilla menetelmillä kuin korrelaationalyysillä, hyväksyttiin analysointiin vain arvot, jotka korreloivat yli 0.1. Käytännössä hyväksynnällä ei ollut merkitystä, sillä rajaamattomasta tiedosta tehdyn tilastollisen tarkastelun perusteella ei löydetty minkäänlaista vahvaa vaikuttavaa tekijää ongelman ratkaisun kannalta. Rajatussa tiedon käsittelyssä virheitä saattoi aiheuttaa halutun tiedon rajauksessa tehty tiedostamaton virhe, mikä lähinnä johtui vääristä merkinnöistä.

Seuranta- ja hypoteesin varmennuskoejoissa koepisteiden lukumäärä jäi alhaiseksi. Pitempi koesarja olisi parantanut tuloksien luotettavuutta, mutta vastaavasti prosessin sisäinen vaihtelu olisi aiheuttanut hajonnan kasvamista.

Koeajojen mittatulokset analysointiin korrelaatio-, regressio- sekä varianssianalyyseillä. Korrelaatiotuloksiin hyväksyttiin tekijät joiden arvot olivat yli 0.7 ja regressioanalyysiin kaikki ne tekijät, jotka olivat alle 30 prosentin riskitasolla tilastollisesti merkittäviä. Varianssianalyysiin otettiin vastaavasti huomioon ne tekijät, jotka olivat alle 10 prosentin riskitasolla tilastollisesti merkittäviä.

16 JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSET

Vaikka reunaprofiilien muuttuminen ei välttämättä selitä kaikkia pohjahylyn syntymekanismejä, niin sen merkitys voi olla huomattava pohjahylyn muodostumisen kannalta ko. paperikoneella. Työn aikana opittiin ymmärtämään, että pohjahylyn synty

muodostui ko. SC-syväpainopaperikoneella poikkiprofiilin reuna-alueiden pienimuotoisesti muutoksista.

Tuloksien perusteella märkäpuristuksella ei voitu vaikuttaa reunojen käyttäytymiseen halutulla tavalla. Paperin laatuominaisuuksien osalta mahdollisesti nopeiden ajan suhteen tapahtuvien vaihteluiden kannalta olisi ensiarvoisen tärkeää tietää (ei ainoastaan rainan muodostumisen ja käyttäytymisen kannalta paperikoneella), kuinka hyvin esimerkiksi paperikoneen lyhyt kierto pystyy vaimentamaan massasuspension erilaisia muutostilanteita, esimerkiksi sakeuden, seossuhteen, jauhautumisasteen tai kemiallisen tilan suhteen.

Perusongelmana paperikoneen ajostabiilisuuden parantamiseksi on ollut se, että massasuspension kaikkia muutostilanteita ei ole pystytty hallitsemaan säätöteknisin keinoin mittaussvaikeuksien vuoksi (27). Näitä vaihteluja ei ole myöskään kyetty eliminoimaan prosessiteknisin keinoin ns. sekoitettujen säiliöiden avulla, likaantumista tai sekoittumisesta aiheutuneista painevaihteluista ja niiden vaikutuksesta virtaus- ja sakeushäiriöiden syntyyn. Virtasen (27) mukaan vasta viime aikoina markkinoille on saatu uusia mittalaitteita sekä uusia säätöteorioita on opittu soveltamaan vaihteluiden vaimentamiseksi. Tämän mukaan olisi mielenkiintoista tarkistaa paperikoneen neliömassamittauksen hyvyys reuna-alueilla ja mahdollisesti lisätä koneelle poikkisuuntainen paksuusmittaus.

Oleellisena jatkotutkimuskohteena tehtyjen selvitysten perusteella voisi olla tutkimus, missä selvitetään reunaprofiilien muutoksien vaikutusta pohjahylyn syntyyn ko. SC-syväpainopaperikoneella. Aiheena voisi olla rainan reunamuodostukseen ja sen hallintaan vaikuttavat tekijät. Rainan reuna-alueiden tutkimisen lisäksi pitäisi konerullan rakennetta optimoida. Tavoitteena olisi saavuttaa sellaiset rullaolosuhteet ko.paperikoneella, jotta reunaprofiilien eläminen ei vaikuta rullaustulokseen.

Pohjahylyn syntymisen suhteen päällimmäiset jatkotutkimuksen osa-alueet ovat:

1. Lajikohtaisten rullausparametrien löytäminen
2. Paperin reologian vaikutus rullaukseen
3. Paperirainan poikkiprofiilien (neliömassa, paksuus, kireys) vaikutus rullaukseen
4. Optimaalisen rullan rakenteen mallinnus
5. Optimaalisen pohjan muodostus vaihtotilanteissa

17 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää, mistä aiheutuu kiinnirullaimen pohjahylyn satunnainen normaalia suurempi määrä eri ajanhetkinä samoilla rullausparametreilla. Normaaliolosuhteissa pohjahylkyä esiintyy n. 400 metriä superkalanterien aukirullauksen lopussa. Kuitenkin ajoittain esiintyy rullaushylkyä. Tällöin hylytettävä paperirainan pituus on 2000-3000 metriä, pahimmillaan jopa 8000 metriä.

Voimassa olevan käsityksen mukaan pohjahylyn kasvaminen aiheutuu konerullan halkaisijan kasvamisen seurauksesta konerullan sisänipin suurentuneista voimista. Konerullan alkumetrit olisi tämän takia tehtävä kovaksi korkean viivapaineen, keskiömomentin ja ratakiireyden avulla, tai paperikerosten välinen liukuminen olisi hallittava tasaisesti läpi konerullan. Ongelmaksi muodostuu reunojen ohuus, joka aiheuttaa "kreppiryngkyä".

Yhtyneet Paperitehtaat Oy:n ja Valmet Oy:n puolesta on suoritettu useampia selvityksiä pohjahylyn määrän edelleen pienentämiseksi. Selvitysten perusteella on todettu, että täyteaine 2:lla, paperin pintakitka- ja K_2 -arvolla sekä poikkirainan profiilien muutoksilla oli vaikutusta pohjahylyn syntyyn. Lisäksi pohjahylyn syntyminen ei ole minkään yksittäiseen superkalanterin tai pituusleikkurin ongelma.

Puolen vuoden pituisen tilastollisen prosessimuuttujatarkastelun mukaan pohjahylyn ilmenemisen yhteydessä paperirainan poikkisuunnan neliömassan hajonta kasvoi sekä konesuunnassa venymä että vetolujuuden arvot pienenivät. Pohjahylky ei ollut tietystä paperilajista tai neliömassasta johtuva ongelma. Selvittämättömän pohjahylyn osuus oli noin 1.8 % kokonaistuotannosta. Lukumääräisesti suurin osa pohjahylky konerullista oli 5-6 kilometriä pitkiä. Hyvin usein pohjahylkytilanteissa ilmiö havaittiin superkalanterilla. Joissakin tapauksissa raina kesti superkalanteroinnin, mutta ei pituusleikkauksen ensimmäisen muuton alkukiihdytystä.

Seurantakoeajon tulosten perusteella saatiin vahvistus, että pohjahylky aiheutui lähinnä paperirainan reunoissa tapahtuvien rainan paperiteknisten muutosten takia. Seurantakoeajoon valittiin kaksi eri tyyppistä SC-paperilajia. Molemmilla lajeilla paksuuden reunaprofiilinarvot pienenivät lähemmäksi Tapio-analysaattorilla mitattua rainan paksuuden keskiarvoa. Poikkeamat olivat hyvän pohjahylkytilanteen aikana 3-4 mikrometriä paksummat kuin keskialueella pienentyen pohjahylyn yhteydessä 0-1 mikrometriin. Lisäksi neliömassan ja tiheyden poikkiprofiileilla reunan poikkeaman muutos alkoi kauempan reunasta kuin normaalitilanteessa. Lämpökameralla konerullan päätyä kuvattaessa pystyttiin SCj-lajilla jarrutuksen yhteydessä syntyneiden lämpötilaerojen sekä SCe-paperilajilla konerullan pinnalta otetun paperinäytteen lepokitkan mittaustuloksien perusteella todentamaan syntyvä pohjahylky.

Saavutettujen tulosten perusteella oletettiin pohjahylyn syntyvän poikkiradan reuna-alueiden neliömassan ja paksuuden muutoksista. Hypoteesiä tuki tilastollisen tarkastelun havainnot, seurantakoeajon tulokset ja aikaisemmat tutkimukset. Reunoilta katkeavan pohjahylyn syntymekanismi on TAPPI rullausvikataulukon mukaan peräisin reuna-alueiden profiilivirheistä.

Hypoteesi varmennettiin erillisellä koeajolla, missä tarkoituksella puristettiin paperirainan reunoja kahdella paperikoneen märkäpuristimella. Pohjahylyn syntymisen suhteen reunapuristuksella ei ollut merkitystä, vaan muutos oli peräisin jostakin muusta

paperikoneen osasta. Yhdistämällä puristuskoeajon tulokset todettiin neliömassan poikkiprofiilien hajonnan kasvavan. Samanaikaisesti neliömassan reuna-alueiden poikkema keskiarvoon verrattuna muuttui noin 0-0.5 %:sta 0.6-1.5 %:iin. Lisäksi paksuuden muutokset olivat suurimpia konerullan pohjalla. Tulevan rainan lepokitkan ja vetolujuuden hajonnat pienenevät pohjahylyn yhteydessä.

Paksuuden ja neliömassan muutoksilla on vaikutusta muodostuvan konerullan radiaalipaineisiin ja mahdollisiin konerullan sisäisiin liikkeisiin. Tulosten perusteella pohjahylyn syntymisen syy ko. SC-syväpainopaperikoneella aiheutuu paperirainan poikkisuuntaisten profiilien reuna-alueiden pienistä rullauksen kannalta epäedullisista muutoksista.

LÄHDELUETTELO

LÄHDELUETTELO

1. Keskinen, Erno, Paperikonerullaimen mekaanishydraulinen simulointi. Diplomityö. Tampereen Teknillinen Korkeakoulu, Konetekniikan osasto, Tampere, 1990. 86 s.
2. Karonen, Tapani, Paperikoneen rullaimen kokonaisautomaatio. Diplomityö. Teknillinen Korkeakoulu, Koneinsinööriosasto, Espoo, 1988. 66 s.
3. Lindahl, John, LWC-paperin konerullaus ja siinä syntyvät rullanpohjavauriot. Diplomityö. Teknillinen Korkeakoulu, Puunjalostustekniikan osasto, Espoo, 1985. 101 s.
4. Honkanen, Harri, Konerullan tutkimus- ja mittausmenetelmien kehittäminen. Diplomityö. Teknillinen Korkeakoulu, Konetekniikan osasto, Espoo, 1990. 66 s.
5. Lehtisalo, Tommi, Paperin kitkan ja kokoonpuristuvuuden merkitys rullauksessa. Diplomityö. Teknillinen Korkeakoulu, Paperitekniikan laboratorio, Espoo, 1995. 97 s.
6. Roisum, David R., The mechanics of winding. Väitöskirja. TAPPI Press, Technology Park/Atlanta, Atlanta, USA, 1994. 179 s.
7. Komulainen, Pekka, Paperin käyttäytyminen rullauksessa. Luento. Valmet Paperikoneet Oy, Järvenpää, 1992.
8. Kyytsönen, Markku, A New Reeling Concept. Valmet julkaisu. 1992.

9. Kyytsönen, Markku, LWC-pohjapaperin kiinnirullaukseen liittyvistä pohjahylkyongelmista. Valmet, sisäinen muistio. 1990.
10. Kyytsönen, Markku, Paperin rullauksen ongelmat ja kehitystrendit. INSKO-julkaisu, 241571-92 II. 10 s.
11. Koskinen, Jukka, Satikka/Slir -teoria. Tekninen raportti. Valmet Paperikoneet Oy, Järvenpää, 1994. 5 s.
12. Valmet Paper Machinery, markkinointikalvot. 1995.
13. Kyytsönen, Markku, Optireel- ratkaisu pohjahylkyongelmaan. Paperi ja puu 74 (1992) 9, s. 703-705.
14. Mikkonen, Silvo, Sisäinen muistio. Valmet Paperikoneet Oy, Järvenpää, 1993. 16 s.
15. Tyrväinen, Martti, Valmetin rullausteknologia etenee harppauksin - paperitehtailla mahdollisuus saada miljoonahyödyt uudesta OPTIREEL-rullaustekniikasta. Myyntiartikkeli, Valmet Paperikoneet, Järvenpää, 1993. 9 s.
16. Kemppainen, Jarmo, sisäinen muistio rullauksesta. 8 s.
17. Komulainen, Pekka, Eräs paperin rullauksen simulointimalli ja sen luotettavuus. Diplomityö. Teknillinen Korkeakoulu, puunjalostusosasto, Helsinki, 1970. 88 s.
18. Pfeiffer, J.D., Nip forces and their effect on wound-in tension. Tappi 60 (1977):2, s. 115-117.

19. Pfeiffer, J.D., Mechanics of a rolling nip on paper webs. Tappi 51(1968):8, s. 342-347.
20. Lunabba, M. Utvecklande av övervakningssystemet för det mekaniska tillståndet hos LWC-pappersrullar. Diplomityö. Teknillinen Korkeakoulu, puunjalostustekniikan osasto, Espoo, 1979. 103 s.
21. Altmann, H.C., Formulas for computing the stresses in center-wound rolls. Tappi 51(1968):4, s. 176-179.
22. RAND, T., Eriksson, L.G., Physical properties of newsprint rolls during winding. Tappi 56(1973):6, s. 153-156.
23. Paperin ja kartongin käsittely. Julk. Metsäteollisuuden työnantajaliitto, Julkaisu M508, Puusta paperiin. Lappeenranta 1981, 89 s.
24. Jantunen, Jaakko, Paperin Mekaaniset ominaisuudet ja ajettavuus. Kuitu- ja paperifysiikka, luentoaineisto syksyllä 1990, Teknillinen Korkeakoulu, Paperiteknikan laboratorio, Espoo, 1990.
25. Aalto, Mikko, Sisäinen raportti, Yhtyneet Paperitehtaat Oy, Jämsänkoski, 1994. 9 s.
26. Roll defect terminology. TIS 016-53. Tappi Press Atlanta, GA., 1977. 55 s.
27. Virtanen, Pasi, Lyhyt kierto - paperikoneen tärkein osa, Tampella Papertech Oy, Valmetin sisäinen artikkeli, 1992, 12 s.

28. Luomi, Kalle, Sisäisiä raportteja kitkamittauksesta, Yhtyneet Paperitehtaat Oy, Jämsänkoski, 1994, 8 s.
29. Kämpe, Mika, Koulutusmateriaali, SC-syväpainopaperikoneen kunnossapitotiimin ongelmanratkaisukoulutus, Jämsänkoski, 24.5.1995, 3 s.
30. Mikkonen, Silvo, Asiakasraportit, Valmet Paperikoneet Oy, v. 1994, 24 s.
31. Kauhanen, Risto, Optireelin käyttöjen värähtelymittaukset, Valmet Paperikoneet Oy, Järvenpää, 10.11.1994, 5 s.
32. Lehtinen, Pentti, Optireel rullaimen nippivoiman mittaus, Valmet Paperikoneet Oy, Järvenpää, 14.11.1994, 2 s.
33. Linnonmaa, Pekka, Asiakaselvitys, Valmet Paperikoneet Oy, Järvenpää, 26.7.1993, 10 s.
34. Boulden Jeffrey, Beloit TNT Reel, A New Reel for Today And Tomorrow's Paper Machines, Beloit Corporation, 1995. 4 s.
35. Beisswanger, Rudolf, DUOREEL- Modulares Maschinenkonzept für Wickelaufgaben an Papier- und Streichmaschinen. Zellcheming-Vortrag. Baden-Baden, Juni 26-29, 1995. 26 s.
36. Patent, Deutsches DE 4401959 A1, Tragtrommelroller für eine Papiermaschine, Deutschland, App. 408029/485, 1994-01-24, Publ. 94-07-21, 7 s.
37. Ljuström, K., Kiinnirullaimen käyttö- ja huolto-ohjeet, Valmet Paperikoneet Oy, 1993, 42

38. Rautakorpi, Timo, Sisäisiä raportteja, Valmet Oy, Järvenpää, 1995.
39. Nordman, L. Aaltonen, P., Paperin rakenne. Paperin valmistus, 2. painos. Toim. A.Arjas. Julk. SPIY/TTA. Turku 1983, s. 169-206.
40. Tulokas, J., Competition. Optireel News 1/94, 1994. 2 s.
41. Manner, H., Paperin lujuuden heikkeneminen kalanterissa. Nippipäivä. Järvenpää, 27.9.1995. s. 73-88.
42. Cutshall, K., The nature of paper variation. Tappi Journal, June 1990, s. 81-90.

LIITEOSA

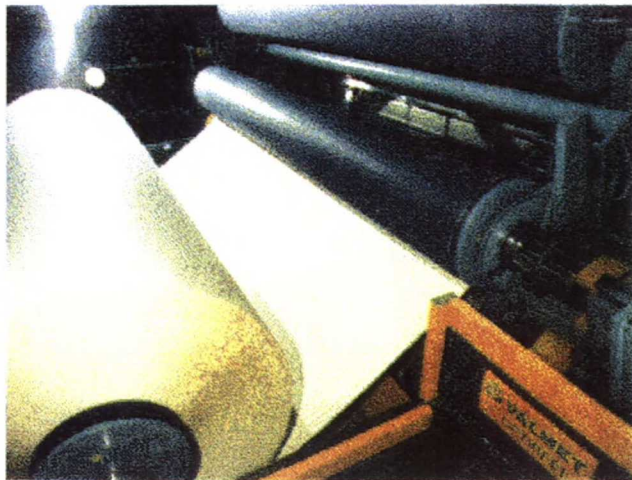
LIITELUETTELO

1. OPTIREELIN VAIHTOSEKVENSSI
2. MENETELMÄKUVAUKSET
3. RULLAN MITTAUS- JA TUTKIMUSMENETELMÄT
4. TILASTOLLISEN TARKASTELUN TULOKSET
5. SEURANTAKOEAJON TULOKSET
6. HYPOTEESIKOEAJON TULOKSET
7. VIIIVAKUORMAMITTAUS
8. TIHEYSMITTAUS
9. QMM-TIEDONKERUUMENETELMÄ
10. RADIAALIPAINEN LASKENTA

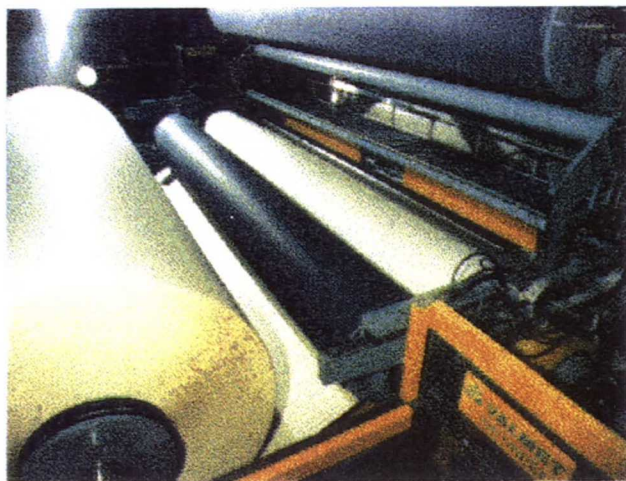
OPTIREEL VAIHTOSEKVENSSI



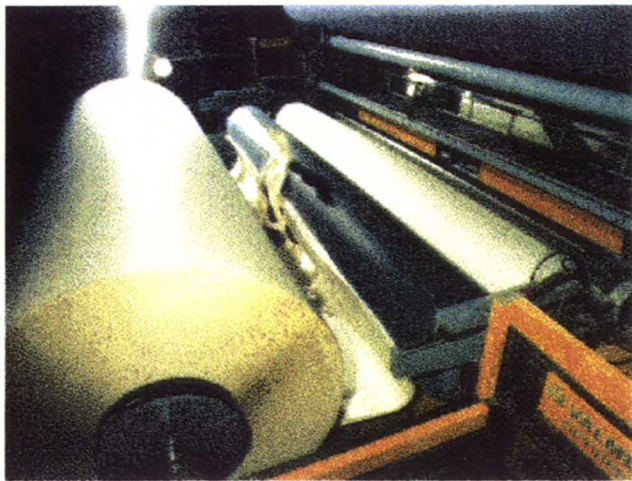
Tampuuritelan kiihdytys



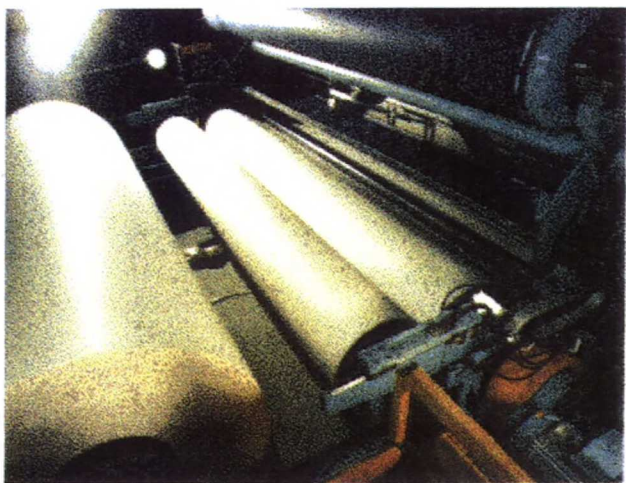
Valmistuvan konerullan siirto



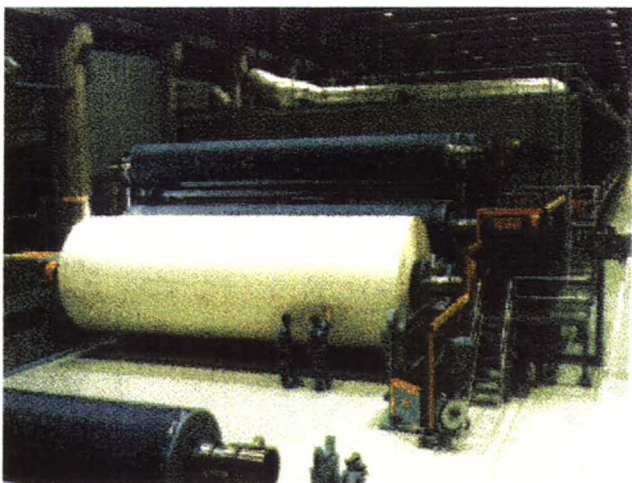
Tampuuritelan siirto vaihtoasentoon



Alapuolinen ilmapuhallusvaihto

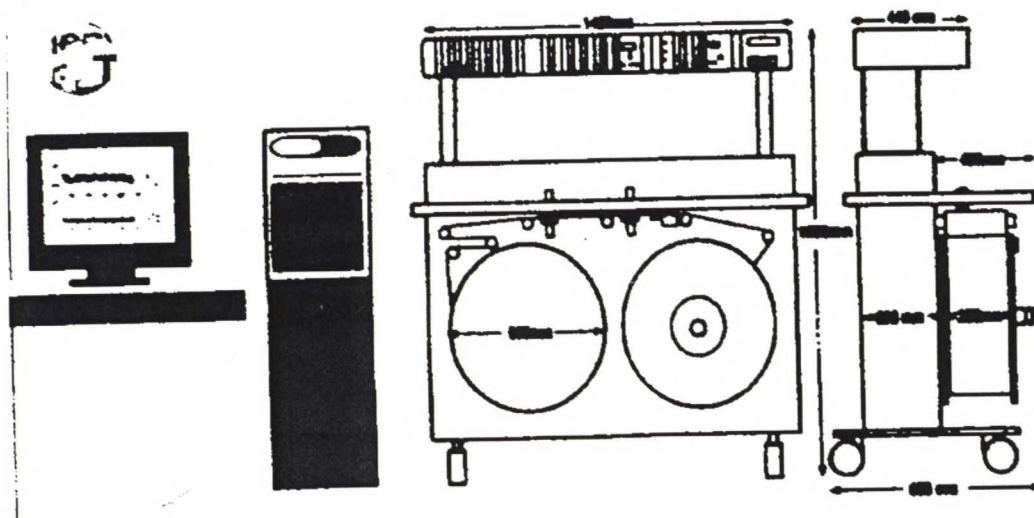


Vaihto suoritettu



Optireel kiinnirullain

TAPIO-ANALYSAATTORI



Menetelmän tarkoitus: TAPIO Paper Variability Analyzer on laboratorio mittauksiin tarkoitettu poikki- ja konesuuntaisten rainanäytteiden analysointilaitte, jolla voidaan tunnistaa:

- * Paperin laatuun vaikuttavista tekijöistä esim. yksittäisen koneen osan vaikutus tuotteen laatuun.
- * Voidaan tarkistaa ON-LINE mittausjärjestelmien toiminta
- * Suorittaa tilastollista analysointia
- * Voidaan käyttää kaikille paperilajeille aina 250 g/m²

Toimintaperiaate:

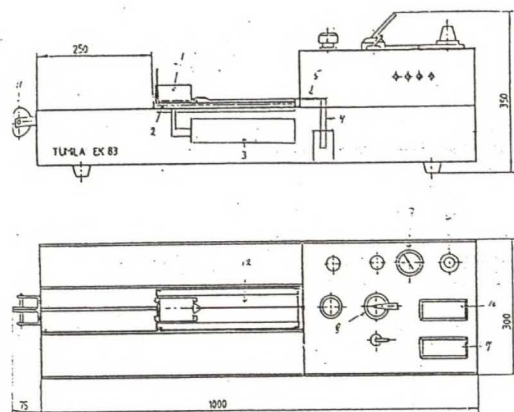
Valmis näyterulla kiinnitetään laitteen etupuolella olevaan telaan. Paperiraina pujotetaan anturien läpi ja kiinnitetään vetotelaan. Laite kiihdytetään maksimissaan 2 m/s ratanopeuteen. Näytteenottoväli voidaan säätää n. 0.1-204.8 mm välille. Mittasignaali vahvistetaan vahvistimessa ja suodatetaan. Signaali muunnetaan A/D-muuntimella digitaaliseksi signaaliksi, mitä voidaan edelleen analysoida tietokoneella.

Näytteiden valmistus: Poikkisuuntaiset näytteet otetaan "lusaamalla" poikkiratanäytteitä 20 kappaletta (n. 0.6 m leveä) konerullan pinnasta ja pohjasta. Näytteet yhdistetään ja leikataan laboratoriossa näyterullaksi.

Standardit:

Neliömassa	promethium 147, 200 mCi
Paksuus	n. 0.3 mm halkaisijan kontaktialue
Kiilto	ylä- ja alapinta, 4x4 mm alueelta
Transmissio	1 mm halkaisijan aukko (opasiteetti)
Tiheys	laskennallinen neliömassasta ja paksuudesta

KITKAMITTAUS



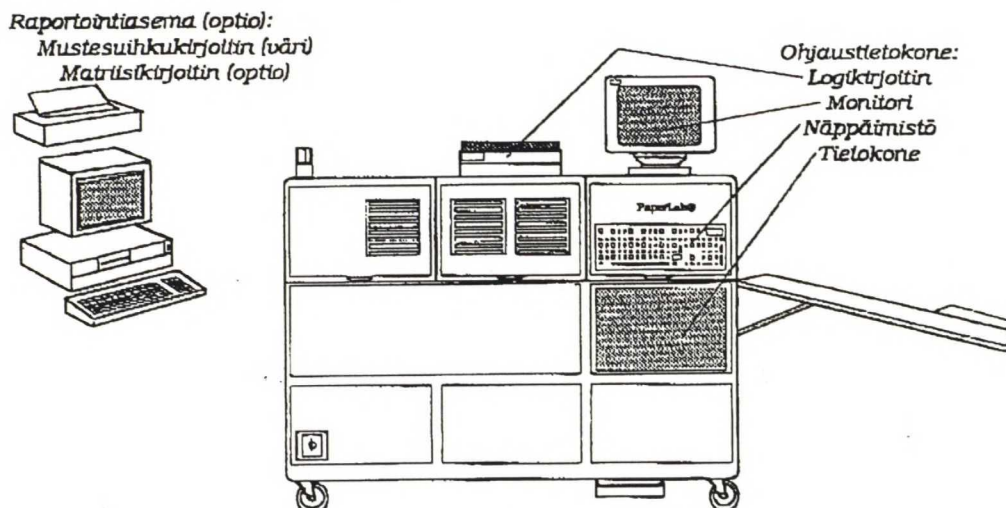
Menetelmän tarkoitus: Mitata paperin lepo- ja liikekitkaa.

Toimintaperiaate: Kitkamittauksessa käytettiin Lorentzen&Wettren Tumila-kitkamittauslaitetta. Mittauksessa pyrittiin kerrosten välisen siirtymän mukaiseen lepo- ja liikekitkakertoimien määrittämiseen. Näin ollen kitkamittarin ylä- ja alakelkan näytekappaleiden puolisuuus ja rullaussuunta tuli määrittää ennen mittausta. Oleellista kitkamittaukselle on, että paperin ylä- ja viirapuoli ovat vastakkain, ja rullaussuunta on molemmilla pinnoilla samassa kitkakontaktissa.

Näytteiden valmistus: Näytteitä otetaan vähintään 4 poikkirataprofiilia koepistettä kohden, jotka leikataan myöhemmin pienemmiksi paloiksi laboratorioon kuljettamista varten. Laboratoriossa palat leikataan edelleen pienemmiksi. Alapuolinen paperinäyte kiinnitetään laitteeseen viirapuoli ylöspäin ja yläpuolinen kelkaan vastaavasti viirapuoli alaspäin.

Standardit: Kitkamittaus suoritetaan jokaisesta näytepalasta 1 kerran. Rinnakkaismäärittäyksiä tehdään vähintään kolme kappaletta koepistettä kohden.

PAPER LAB-MITTAUS



Menetelmän tavoite: Mitata automaattisesti poikkiratanäytteiden erilaisia paperitekniisiä arvoja noin 0.5 metrin mittavälein.

Toimintaperiaate: Konerullasta otettu kone- tai poikkisuuntainen näyte leikataan ja kelataan näyteleikkurilla näytehylsälle. Hylsyn sisältävä kasetti asetetaan PaperLabiin, joka testaustavan ja näytetietojen määrittämisen jälkeen automaattisesti testaa näytepaperista erilaisia ominaisuuksia toimituslaajuudesta riippuen. Testauksen jälkeen laite tulostaa näytteen tiedot kirjoittimelle, raportointiasemaan tai tehtaan tietojärjestelmään.

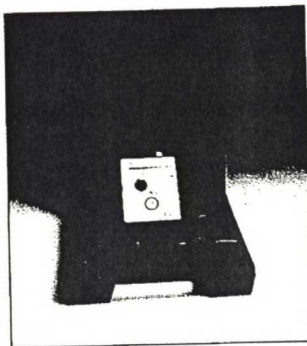
Näytteiden valmistus: Poikkisuuntaiset näytteet otetaan "lusaamalla" muutama poikkiratanäyte (n. 0.6 m leveä) konerullan pinnasta. Poikkiratanäyte rullataan heti näyteleikkurilla testaushylsälle.

Standardit:	Neliömassa	SCAN P6:75, TAPPI T410 OS-79
	Paksuus	SCAN P7:75k, ISO 534-1980, TAPPI 411 om-89, JIS P8118
	Huokoisuus	Ei standardia
	Vetolujuus	SCAN P38:80, TAPPI T494 om. -81
	B-Karheus	SCAN P21:67
	Kiilto	T480 om. -85
	PPS-karheus	Ei standardia

STAATTISEN SÄHKÖN MITTAUS

SÄHKÖNVARAUSMITTARI MS-110

- staattisen sähkön varauksien ja sähkökenttien mittaamiseen
- MS-110



Menetelmän tarkoitus: Mitata konerullan kerrosten välisestä liikkeestä aiheutuvaa staattisen sähkön muodostumista konerullan päädyssä.

Toimintaperiaate: Laite mittaa maksimissaan noin 5 cm:n päässä olevan kentän staattista varautumista volteissa.

Standardit: Laitteella ei ole standardia.

RULLAN MITTAUS- JA TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämä yhteenvedon tarkoituksena on luoda lyhyt katsaus nykyisin käytettävissä oleviin mittausmenetelmiin, joiden avulla pyritään arvioimaan konerullan rakennetta joko rullauksen aikana tai sen jälkeen. Käsitellyt mittausmenetelmät ovat yleisessä käytössä joko asiakasrullan tai konerullan rakenteen mittauksessa tai niitä on ehdotettu sellaisiksi. Mittausmenetelmien soveltuvuudesta konerullan rakenteen ja siinä tapahtuvien muutosten määrittämiseen on esitetty arvio kirjallisuuteen sekä kirjoit-tajan omaan näkemykseen pohjautuen.

1 J-Linja

Laitteisto

Dynaamisessa tilanteessa tapahtuvaan konerullan päädyn merkitsemiseen tarvitaan jousi, jolla ammutaan kalkkiviiva rullan pätyyn. Staattisessa tilanteessa tapahtuvaan merkintään riittävät huopakynä sekä viivoitin.

Menetelmän kuvaus

Rullan pätyyn merkitään säteen suuntainen suora viiva tarkastelun alaisen halkaisijamuutoksen alueelle. Suoran viivan mahdollisen kaartumisen tai taipumisen perusteella voidaan päätellä paperikerrosten välistä liukumaa tapahtuneen.

Arvio menetelmän soveltuvuudesta

J-linjan käyttöä vaikeuttavat konerullan pyöriminen erityisesti nopeilla koneilla sekä konerullan pään leikkaamat-tomuus. Kerrosten väliset liukumat saattavat rajoittaa ainoastaan muutamaankin arkkiiin, joiden havaitseminen epäselvästi merkitystä J-linjasta on hankalaa.

2 Pull tab-vetoliuskamittaus

Laitteisto

Vetoliuskamittaukseen varten tarvitaan metalliliuskoja (60mm x 12,7mm x 0,05mm), savukepaperia, lakkabensiiniä tai asetonia, teippiä sekä vetovoiman mittaukseen soveltuva mittalaite (mittakello).

Menetelmän kuvaus

Mittauksen periaatteena on, että mitataan rullan tampuuritelan ja alimpien paperikerrosten välissä olevan liuottimella puhdistetun liuskan ulos vetämiseen tarvittava ulosvetovoima, joka on verrannollinen rullan pohjalla vallitsevaan paineeseen. Mittausjärjestelyihin kuuluu vetoliuskan puhdistus ja kääriminen savukepaperin sisälle, joka teipataan tampuurirautaan siten että osa liuskasta jää näkyviin. Liuska joudutaan käärimään savukepaperin sisään, jotta liuskan ja paperin välinen kitka pysyisi mahdollisimman vakiona. Rullauksen jälkeen liuska vedetään tasaisella nopeudella rullan sisältä ja käytetty ulosvetovoima kirjataan ylös. Perusfysiikan kaavoja noudattaen voidaan laskea pohjalla oleva paine.

Metallisen liuskan tilalla on ehdotettu käytettäväksi muoviliuskaa, kellonjousta tai metallilankaa.

Arvio menetelmän soveltuvuudesta

Menetelmään aiheuttaa häiriötekijöitä tampuuritelan uritus, epäpuhtaudet vedettävällä liuskalla, liuskan sijainnin variaatiot poikkisuunnassa ja tampuuriraudan kehällä sekä aikaviive mittauksen suorittamisen ja rullauksen lopettamisen välillä. Rullan voidaan ajatella rakentuvan kantavien kohtien varaan, jolloin profiilien vaikutus tulisi huomioida mittauksessa. Profiilin avulla voidaan tietysti arvioida poikkisuuntaista painejakaumaa konerullan pohjalla tai ainakin paperin paksuuden osuutta siinä, mutta muuten profiilitietoa ei tarvita.

3 Gameron gap-mittaus

Laitteisto

Terävä veitsi, viivain sekä mittanauha.

Menetelmän kuvaus

Kiinnirullatun rullan päällimmäinen arkki viilletään auki poikkisuunnassa ja arkin päät viedään käsin mahdollisimman lähelle toisiaan. Päiden välinen etäisyys on verrannollinen rullan halkaisijaan sekä kyseisen kerroksen venymään eli tangentialiseen jännitykseen. Menetelmä on kuvattu tarkemmin standardissa TAPPI RC317.

Arvio menetelmän soveltuvuudesta

Cameron-testi on hankala suorittaa kookkailla konerullilla. Arvioitaessa rullan eri kohtien tangentialijännityksistä, joudutaan koe suorittamaan eri rullan halkaisijoilla. Tällöin testi ei kerro totuutta rullan sisäisestä jännitysjakaumasta.

4 Smith'in neula

Laitteisto

Rullan tiukkuuttavarten on mittalaitteet mallia A tai B mitattavan rullan kovuuden mukaan.

Menetelmän kuvaus

Mittalaitetta pidetään suorassa kulmassa konerullan päätyä vasten jousitetun laipan avulla. Mittaelimenä oleva jousijännitteinen neula työnnetään rullan sisälle vakio syvyydelle (1/2") ja siihen tarvittavaan voimaan verrannollinen lukuarvo luetaan mitta-asteikolta. Voima on riippuvainen rullan tangentiali- ja radiaalijännityksistä sekä paperin ja neulan välisestä kitkasta.

Arvio menetelmän soveltuvuudesta

Laitteen avulla voidaan arvioida rullan säteen suuntaista rakennetta. Tosin arvio saadaan ainoastaan rajoitetulta alueelta rullan päädyistä, jolloin profiilien aiheuttamat erot rullan muissa osissa voivat olla huomattavia. Laitella saadut tulokset ovat riippuvaisia erittäin pienen neulan ja paperin välisen alan kitkaominaisuuksista, joten tuloksissa voi esiintyä melkoista vaihtelua. Mittaus saattaa vaurioittaa rullaa ja hankaloittaa aukirullausta kevyillä paperilajeilla.

5 RhometerLaitteisto

Rhometer-mittalaite.

Menetelmän kuvaus

Laitteella mitataan rullan kovuutta iskuvasaran hidastuvuuden avulla. Laite rekisteröi maksimaalisen iskuvasaran hidastuvuuden kun iskuvasara osuu rullan kylkeen. Rullan kovuus ilmoitetaan Rho-yksikköinä, jolloin yksi Rho vastaa kolmen g:n hidastuvuutta. Saatu mittaustulos on verrannollinen rullassa olevaan paineeseen 2 -3 cm syvyyteen asti rullan pinnasta.

Arvio menetelmän soveltuvuudesta

Rhometri soveltuu parhaiten poikittaisen kovuusprofiilin mittaamiseen. Rhometrillä mitattuihin arvoihin vaikuttaa mitattavan rullan halkaisija koska rullan radiaalipaine vaihtelee halkaisijan suunnassa. Mittaustulokset ovat herkkiä vaihtelevaan mittaustavan mukaan. Konerullan poikkisuuntaista kovuusprofiilia mitattaessa mittaukset tulisi suorittaa juuri samasta kohdasta rullan piiriä. Laitteen tulisi olla aina kohtisuorassa rullaan nähden. Rhometrillä saadut tulokset ovat paperilaji- ja tuotantolinjakohtaisia. Laitteen käyttö on yleistä tuotantolaitoksissa USA:ssa.

6 Schmidt'in vasara

Laitteisto

Schmidt'in vasara.

Menetelmän kuvaus

Työnnettäessä laitetta mitattavaa rullaa vasten jännittyy jousi, joka tietyn pisteen jälkeen vapautuu ja laukaisee iskumännän rullaa vasten. Laitteella arvioidaan rullan kovuutta parametrin avulla, joka kuvaa kimmoisen kappaleen muotoon palautumista. Käytännössä tämä toteutetaan mittaamalla kuinka korkealle mäntä hypähtää rullan pinnasta.

Arvio menetelmän soveltuvuudesta

Schmidt'in vasaran toimintaan ja menetelmän käyttökelpoisuuteen pätevät samat huomautukset kuin Rhometer'lle. Kirjallisuudessa esitettyjen arvioiden mukaan menetelmän resoluution havaita rullan rakenteessa tapahtuvia muutoksia on huonompi kuin Rhometer'llä. Schmidt'in vasara on yleisesti käytetty tuotantolaitoksissa Euroopassa.

7 Paro-rullan kovuusmittalaite

Paro-mittalaite on toimintaperiaatteeltaan ja soveltuvuudeltaan vastaava laite kuin Schmidt'in vasara.

8 BTF (Backtender's Friend)-kovuusmittari

Laitteisto

Accuraun toimittama poikkiratapalkki, jossa mittapäänä toimii pyörivä iskuelementti (vasara). Valmet Automaatiolla on myös ko. laite markkinoilla.

Menetelmän kuvaus

Laite mittaa konerullan kovuutta sekä poikki- että halkaisijan funktiona. Mittapäässä oleva pyörä liikkuu paperiradan poikkisuunnassa edestakaisin pitkin konerullan ulkopintaa. Vasara nostaa pyörän välillä ja iskee sen heti takaisin konerullan pintaan. Voimamittauksen kautta laite laskee syntyvän konerullan kovuuden.

Arvio menetelmän soveltuvuudesta

Laite soveltuu suhteellisen hyvin konerullan mittaamiseen. Ongelmana ovat laitteen investointikustannukset sekä tarkka instalointi referenssilinjan kanssa.

9 TiheysmittausLaitteisto

Tiheysmittaukseen tarvitaan tietokoneohjelma laskentakorttineen, anturivahvistin- ja virtayksikkö, valokaapelianturit sekä optista teippiä.

Menetelmän kuvaus

Tiheysmittaus mittaa konerullan pyörimisajan suhdetta referenssiin eli rullaimella rullaussylinteriin. Halkaisijatiedon avulla saadaan laskettua paperin paksuuden ja neliömassan avulla rullautumistiheys.

Arvio menetelmän soveltuvuudesta

Menetelmä soveltuu parhaiten reaaliaikaisen rullan muodostamisen mittavälineeksi. Vanhempi menetelmä vertaili sadan paperikerroksen keskinäisiä pinopaksuuseroja. Uudella menetelmällä verrataan syntyvässä olevaa kerrosta edelliseen kierrokseen.

Tiheyden arvioimiseen järjestelmässä se ei huomioi todellista paksuutta ja neliömassaa. Lisäksi mittamenetelmällä ei saada selville poikkisuuntaisia eroja tiheydelle vaan kierroksen tulos on jonkinlainen keskiarvoluku poikkisuunnan paksuusprofiilista.

10 Hylsymomentti

Laitteisto

Mittaukseen tarvitaan momenttivarsi sekä ns. lukittuva hylsy paperirullan sisähylsyn lukitsemiseksi.

Menetelmän kuvaus

Lukittava hylsy työnnetään asiakasrullan hylsyn sisään. Momenttivarsi kiinnitetään ja mitataan momenttimäärä, jolla saadaan asiakasrullan sisähylsy luistamaan. Mittamenetelmällä mitataan kitkan ja radiaalipuristuksen yhteisvaikutusta rullan pohjalla.

Arvio menetelmän soveltuvuudesta

Menetelmä tällaisenaan ei sovellu konerullien analysointiin.

11 WIT-WOT

Laitteisto

WIT-WOT-laitteisto on tyypiltään välirullaimen tapainen. Rullaimessa on sekä aukirullauksen jälkeen että ennen kiinnirullausta kireysmittaus.

Menetelmän kuvaus

Pfeifferin kehittämässä laitteistossa pystytään mittaamaan aukirullauskireys (Wound-Out-Tension) ratakireyden ja kiinnirullauksen rullausnipin viivapaineen muuttuessa. Kiinnirullauksen yhteydessä mitataan rullausratajännitystä (Wound-In-Tension).

Arvio menetelmän soveltuvuudesta

Menetelmä soveltuu parhaiten asiakasrullilla tehtäviin kokeisiin. Vaikkakin välirullain olisikin ideaalinen paikka suorittaa WIT-WOT-kokeita. Ongelmaksi välirullaimella todellisen konerullan rakenteen selvittämisen suhteen tulisivat useat pysäyttämistä johtuvat epävarmuustekijät. Lisäksi menetelmä vaatii suuria investointeja.

12 Voima-anturimittaus

Laitteisto

Tampuuriraudan metallivaipalle liimataan tai hitsataan venymäliuskat ennen sen uudelleen pinnoittamista. Lisäksi laite tarvitsee liuskoille vahvistin- ja virtayksikön. On-Line-mittausta varten tarvitaan vielä radiolähetin telalta taltiointiyksikölle.

Menetelmän kuvaus

Venymäliuska reagoi metallipinnassa tapahtuviin muodonmuutoksiin (venymiin ja puristumiin), jonka se muuttaa sähköiseen muotoon. Valmistaja ilmoittaa liuskan aiheuttaman resistanssin muutoksen voimayksikköä kohden. Yksikkömuunnoksen avulla voimme ilmaista mitatun sähkösignaalin arvoon tampuuriraudan pinnalla vaikuttavina voimina.

Arvio menetelmän soveltuvuudesta

Menetelmää on kokeiltu Valmetissa ja saatu hyvin mielenkiintoisia arvoja konerullan tampuuriraudalla ilmenevien voimien suhteen. Mittamenetelmä vaatii paljon esivalmisteluja ja tampuuritelan pinnoittaminen maksaa.

13 Ääniaalto

Laitteisto

Käytössä olevia laitteita on hyvin monentyypisiä. Yleisimmin on käytetty kaikuluotaintyyppistä mittalaitetta. Toinen vaihtoehtoinen tapa on asentaa suuntaherkät mikrofonit rullan sisään (tampuuriraudan pinnoitteeseen). Japanilaiset ovat kehittäneet jonkinlaisen uuden tomografiaan perustuvan menetelmän.

Menetelmän kuvaus

Äänen liikkumien materiaalissa riippuu sen tiheyden lisäksi materian elastisesta kimmokertoimesta sekä materiaalin jännitystiloista.

Kaikuluotain toimii konerullaan tunkeutuvan ultra-äänen avulla. Tiheys ja tampuuritelan materiaali vaikuttaa säteen kulkusuuntaa, nopeuteen ja palautuman suuruuteen.

Suuntaherkkyyttä mikrofoneja asentamalla esim. 5 kpl per tampuuriraudan neljännes, saadaan interpoloitua äänien (liukumisten) aiheuttaja.

Arvio menetelmän soveltuvuudesta

Molemmat menetelmät ovat vaikeita ja herkkiä paperikonesalin muille meluäänille. Tämän takia niiden toteuttaminen tuotanto-olosuhteissa on hyvin vaikeaa.

14 Lämpökamera

Laitteisto

Mittausta varten tarvitaan lämpökamera, tiedonkäsittely-yksikkö, monitori sekä videonauhuri. Osa lämpökameroista toimii nestemäisellä tyypellä ja osa sähköllä.

Menetelmän kuvaus

Laitteen käynnistämisen jälkeen videokameran kuva tarkennetaan ns. tavallisen mustavalko-imagen mukaan. Tarkennuksen jälkeen voidaan aloittaa lämpökuvaaminen värikuvin. Nykyisissä laitteissa voidaan mitata yleiskuvan lisäksi tietyn viivan, pisteen tai alueen lämpötilatrendejä. Mittausta voidaan tarkkailla monitorin kautta. Tiedot voidaan tallentaa joko videonauhalle tai joissakin tapauksissa digitaaliseen muotoon.

Arvio menetelmän soveltuvuudesta

Menetelmä on hyvin yksinkertainen saattaa mittauskuntoon. Menetelmän käyttäminen onnistuu lähes kaikilta, jotka ovat vähänkin käyttäneet videokameraa aikaisemmin.

15 Videokamera

Laitteisto

Tavallinen suurnopeusvideokamera videonauhureineen.

Menetelmän kuvaus

Laitteisto viritellään haluttuun mittauspäikkaan. Periaatteiltaan se on lämpökamerakuvauksen tapainen.

Arvio menetelmän soveltuvuudesta

Menetelmällä voidaan hyvin analysoida tapahtumia, mitä ihmissilmin on vaikea havaita. Kiinnirullaimella voidaan videokameran avulla seurata ilmapussitusta, nipin tapahtumia, vaihtoja, jne...

ERI MITTAMENETELMIEN MITTAUSTARKOITUS

YHTEENVETO

Rullan kovuus (Impact)

- * BTF (Backtender's Friend)-kovuusmittari
- * Paro-rullan kovuusmittalaite
- * Rhometer
- * Schmidt'in vasara

Kerrosten paineita

- * Pull tab- vetoliiska
- * Smith'in neula
- * Hylsymomentti
- * Ääniaalto
- * Voima-anturimittaus

Kireys

- * WIT-WOT

Jännitys (liikettä)

- * J-linja
- * Cameron Gap
- * Voima-anturimittaus

Muut

- * Tiheysmittaus
- * Lämpökamera
- * Videokamera

TILASTOLLISEN TARKASTELUN TULOKSET LIITE 4 1(17)

TILASTOLLISEN TARKASTELUN MUUTTUJAT

Päivämäärä	1 J	J =	Jaksollinen
Konerullan numero	2 J	M =	Miehistötieto
Vaihto aika	3 T	R =	Raaka-ainetieto
Paperikone vuoro Aamu/ilta/yö	4 M	P =	Prosessitieto
Vuoro 1-5 PK	5 M	T =	Tuotetieto
Viikonpäivä	6 M	O =	Ongelmatieto
Tampuuritela	7 P		
Viivapaine käyrä	8 P		
Viivapaine alkuarvo	9 P		
Keskiömomentti käyrä	10 P		
Keskiömomentti alkuarvo	11 P		
Ratakireys käyrä	12 P		
Ratakireys alkuarvo	13 P		
Pituus [m]	14 P		
Paino [t]	15 P		
Paperikone katkopohjat	16 O		
Katko aika	17 P		
Seisokkiaika pituus	18 P		
Seisokki syy (PK:n osa)	19 P		
Aikaa seisokista	20 P		
Laji	21 T		
Neliömassa	22 T		
Nopeus	23 P		
SK A/I/Y	24 M		
Vuoro 1-5	25 M		
Viikonpäivä	26 M		
SK num.	27 P		
SK pohja	28 O		
SK pohja mm	29 O		
SK pohja selitettävyy	30 P		
SK pohja työn määrä	31 P		
Pituusleikkuri vuoro aamu/ilta/yö	32 M		
Vuoro 1-5 PL	33 M		
Viikonpäivä	34 M		
Pituusleikkuri	35 P		
Pituusleikkuri hylky	36 O		
K-kosteus	37 T		
R-kosteus	38 T		
K-kost.haj	39 T		
R-kost.haj.	40 T		
R-kuivap.	41 T		
Lab neliömassa	42 T		
R-haj. g/m2.	43 T		
K-haj. g/m2	44 T		
R-tuhka	45 T		
R-paks.	46 T		
Veto ks	47 T		
VI-suhde	48 T		
Venymä ks	49 T		
Venymä ps	50 T		
Ilmanläp.	51 T		
B-karh. yp	52 T		
B-karh. ap	53 T		
Orientaatio	54 T		
Täyteaine 1	55 R		
Täyteaine 2	56 R		
Täyteaine 3	57 R		
Yhteensä täyteainetta	58 R		
Täyteainesuhde	59 R		
Paperilaji	60 T		
Kokonaishylkyprosentti	61A O		

TILASTOLLISEN TARKASTELUN TULOKSET LIITE 4 2(17)

KORRELAATIOT SUPERKALANTERIN POHJAHYLYN SUHTEEN ERI MATRIISIKOKOJEN MUKAAN

	A	B	C	D	E	F	KESKIARVO	STDEV
SK pohja	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00
SK pohja mm	0.93	0.93	0.93	0.99	0.94		0.94	0.03
OPTI pohja	0.31	0.34	0.35	0.36	0.26		0.33	0.04
SK pohja typ2	0.17	0.18	0.19	0.43	0.21		0.24	0.11
K-haj. g/m2		0.11	0.12	0.14	0.10	0.19	0.12	0.02
Seisokki syy	0.15	0.15	0.17	0.05	0.03		0.11	0.06
R-kost.haj.	0.10	0.11	0.10	0.11	0.02	0.08	0.09	0.04
K-kost.haj			0.08			0.06	0.08	
R-haj. g/m2.		0.13	0.07	0.07	0.05	0.04	0.08	0.03
K-kosteus			0.06			0.07	0.06	
Vetolujuussuhde				0.07	0.03	0.02	0.05	0.02
Ratakireys arvo	0.03	0.03	0.03	0.07	0.01		0.04	0.02
Katkoaika	0.05	0.05	0.06	0.01	-0.01		0.03	0.03
Ilmanläpäisevyys				0.01	0.04	0.00	0.03	0.02
Paperilaji	0.00	0.00	0.01	0.03	0.02		0.01	0.01
Vuoro PK	0.02	0.01	0.02	0.02	-0.03		0.01	0.02
Vuoro PL	0.02	0.01	0.02	-0.01	-0.01		0.01	0.01
Tampuuritela	0.00	0.00	-0.01	-0.01	0.05		0.01	0.02
Vuoro SK	0.00	0.01	0.02	-0.04	0.03		0.00	0.03
Viipapaine käyrä	-0.01	0.00	-0.02	-0.02	0.05		0.00	0.03
Täyteaine 3	-0.01	-0.01	-0.01	0.02	0.01		0.00	0.01
A/I/Y PL	-0.01	0.00	0.02	0.04	-0.05		0.00	0.03
A/I/Y SK	0.01	0.00	0.00	-0.03	0.01		0.00	0.01
A/I/Y PK	-0.02	-0.01	0.02	0.04	-0.05		0.00	0.03
Seisokkiaika	0.00	0.00	0.01	0.00	-0.02		0.00	0.01
Veto ks				-0.02	0.01	-0.06	0.00	0.02
Viivapaine arvo	-0.01	0.00	-0.02	-0.02	0.02		0.00	0.02
Orientaatio					-0.01	0.02	-0.01	
B-karh. yläpuoli				0.02	-0.04	-0.04	-0.01	0.04
B-karh. alapuoli				0.00	-0.03	-0.05	-0.02	0.02
Paperilaji	-0.01	-0.01	0.00	-0.02	-0.04		-0.02	0.02
Paino [t]	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.04		-0.02	0.02
Keskiömom. käyrä	-0.03	-0.02	-0.09	0.01	0.04		-0.02	0.05
Lab neliömassa		-0.02	0.00	-0.03	-0.05	0.02	-0.02	0.02
Viikonpäivä	-0.02	-0.02	-0.04	-0.03	-0.01		-0.03	0.01
Aikaa seisokista	-0.02	-0.02	-0.01	-0.03	-0.05		-0.03	0.02
R-kosteus	-0.03	-0.03	-0.02	-0.03	-0.04	-0.03	-0.03	0.01
Ratakireys käyrä	-0.03	-0.02	-0.03	-0.07	0.00		-0.03	0.03
Viikonpäivä	-0.03	-0.02	-0.04	-0.05	-0.02		-0.03	0.01
Täyteaine 1	-0.05	-0.04	-0.03	-0.01	-0.05		-0.03	0.02
KM arvo	-0.03	-0.03	-0.03	0.00	-0.08		-0.04	0.03
R-tuhka		-0.04	-0.02	-0.01	-0.07	0.03	-0.04	0.02
Viikonpäivä	-0.03	-0.04	-0.05	-0.04	-0.03		-0.04	0.01
R-kuivap.				-0.03	-0.05	0.01	-0.04	0.02
R-paks.				-0.04	-0.05	-0.01	-0.04	0.01
Venymä ks				-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	0.00
Täyteaine 2	-0.05	-0.05	-0.06	-0.07	-0.08		-0.06	0.01
Venymä ps				-0.08	-0.08	-0.10	-0.08	0.00
Nopeus	-0.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.08		-0.09	0.01
SC pohja selit.	-0.19	-0.18	-0.15	0.07	-0.04		-0.10	0.11
Yhteensä täyteain.	-0.11	-0.11	-0.10	-0.13	-0.12		-0.11	0.01
Täyteainesuhde	-0.16	-0.14	-0.14	-0.05	-0.09		-0.12	0.04
Pituus [m]	-0.21	-0.22	-0.23	0.01	0.00		-0.13	0.13
SC	-0.19	-0.19	-0.19	-0.01	-0.07		-0.13	0.08
PL	-0.22	-0.22	-0.21	0.02	-0.09		-0.14	0.11

TILASTOLLISEN TARKASTELUN TULOKSET LIITE 4 3(17)

MAR-ANALYYSIN TULOKSET 30.9.1994-30.3.1995 VÄLISISTÄ TIEDOISTA

	14	16	19	23	27	30	31	56	58	38	28
14	67,54	0,24	0,95	0,56	0,00	0,57	0,10	0,25	0,27	0,58	0,01
16	13,18	53,14	9,93	0,46	0,07	0,99	0,11	0,03	0,02	0,00	0,03
19	0,67	1,38	24,73	0,51	0,02	0,13	0,02	0,01	0,03	0,02	0,06
23	2,05	5,05	43,51	92,86	0,02	3,09	0,08	0,44	5,33	0,12	0,61
27	0,76	0,45	0,64	0,17	98,73	0,69	0,38	0,00	0,03	0,02	0,21
30	1,76	0,15	0,91	0,00	0,20	89,52	0,04	0,06	0,00	0,05	0,02
31	0,57	0,14	0,71	0,01	0,01	0,06	98,49	0,29	0,06	0,01	0,12
56	6,89	2,06	5,41	1,69	0,30	2,83	0,13	83,05	17,27	1,04	3,22
58	5,80	30,22	9,02	3,11	0,25	1,83	0,24	3,55	53,71	15,53	7,28
38	0,12	6,80	0,11	0,36	0,29	0,25	0,25	12,28	22,88	82,55	0,20
28	0,65	0,38	4,07	0,29	0,13	0,04	0,17	0,05	0,39	0,10	88,24

Kuva 1. MAR-analyysi koko tiedostosta (4250 otosta x 32 muuttujaa)

	14	16	19	27	30	31	35	58	59	43	44	28
14	73,99	0,29	0,57	0,03	0,50	0,11	0,36	0,17	0,07	0,01	0,02	0,10
16	14,36	63,21	19,22	0,06	0,79	0,11	0,29	0,10	0,20	0,27	0,02	0,02
19	0,53	1,43	55,03	0,01	0,07	0,01	0,05	0,12	0,35	0,16	0,02	0,05
27	0,71	0,42	0,70	96,86	0,63	0,32	0,09	0,06	0,17	0,07	0,01	0,28
30	1,95	0,19	2,36	0,26	96,78	0,07	0,16	0,04	0,11	0,01	0,04	0,02
31	0,59	0,18	2,04	0,00	0,04	98,20	0,01	0,05	0,10	0,05	0,17	0,06
35	0,65	0,41	0,37	2,55	0,50	0,41	97,96	0,08	0,23	0,11	0,00	0,08
58	4,99	32,58	9,79	0,00	0,47	0,20	0,87	98,36	66,65	3,86	0,89	12,33
59	0,01	0,01	0,02	0,04	0,11	0,06	0,01	0,02	31,26	0,01	0,00	0,04
43	1,07	0,92	0,30	0,01	0,03	0,03	0,08	0,46	0,40	92,09	5,41	0,06
44	0,44	0,01	0,87	0,00	0,05	0,28	0,06	0,03	0,03	3,27	93,31	0,02
28	0,71	0,35	8,74	0,17	0,02	0,19	0,08	0,51	0,44	0,10	0,10	86,94

Kuva 2. MAR-analyysi koko tiedostosta (4200 otosta X 36 muuttujaa)

	14	16	19	27	30	31	35	58	59	44	28
14	72,20	0,50	0,50	0,01	0,22	0,02	0,35	0,01	0,11	0,03	0,04
16	12,79	65,34	20,47	0,05	0,39	0,16	0,22	0,27	0,26	0,08	0,13
19	0,31	2,50	56,84	0,01	0,00	0,07	0,06	0,38	0,78	0,02	0,18
27	1,25	0,45	0,41	96,95	0,97	0,25	0,03	0,07	0,20	0,02	0,23
30	2,21	0,22	2,99	0,15	97,41	0,00	0,04	0,11	0,16	0,20	0,02
31	0,44	0,20	2,62	0,02	0,00	98,10	0,06	0,14	0,24	0,42	0,15
35	0,66	0,39	0,26	2,55	0,56	0,44	98,39	0,04	0,18	0,00	0,11
58	9,63	29,75	6,01	0,03	0,24	0,04	0,70	97,41	70,38	1,80	14,10
59	0,02	0,02	0,01	0,06	0,16	0,09	0,01	0,02	26,26	0,00	0,06
44	0,25	0,15	1,79	0,00	0,03	0,60	0,07	1,08	0,97	97,31	0,92
28	0,24	0,49	8,08	0,17	0,01	0,23	0,06	0,48	0,45	0,12	84,05

Kuva 3. MAR-analyysi koko tiedotosta (4050 otosta x 42 muuttujaa)

TILASTOLLISEN TARKASTELUN TULOKSET LIITE 4 4(17)

RAJATTU TILASTOLLINEN TARKASTELU: SIIRTYMINEN POHJAHYLKITILANTEESEEN

TAPAUS I	Konerullat	Hyvät Huonot	xx00-xx33 xx34-xx68		
	Lajit:	Hyvät Huonot	SCj-paperilaji (34) SCj-paperilaji (15), SCk-paperilaji (19)		
	Pohjien lkm		Ennen:	Jälkeen:	Yhteensä:
		SC	5	15	34
		PL	4	4	34
		Rullain	4	0	34

Mitä tapahtuu: 3 kpl ratakatkoja juuri ennen ongelman alkamista

Ratakireys	Käyrä	Alkuarvo
-xx20	1	225*
xx21-xx49	3	170* <= ongelma alkaa
xx49-xx68	3	190*
xx69-xx73	3	160*
xx74-xx77	3	180*
xx78	3	100*
Keskiömomentti	3	025*
Viivapaine	2	1.2*

* = indeksoituja lukuja

TILASTOLLISEN TARKASTELUN TULOKSET LIITE 4 5(17)
RAJATTU TILASTOLLINEN TARKASTELU: SIIRTYMINEN
POHJAHYLKITILANTEeseen

TAPAUS II	Konerullat	Hyvät Huonot	xx36-xx61 xx62-xx87		
	Lajit:	Hyvät Huonot	SCe-paperilaji (18), SCb-paperilaji(8) SCj-paperilaji (2), SCk-paperilaji (24)		
	Pohjien lkm		Ennen:	Jälkeen:	Yhteensä:
		SK	1	20	26
		PL	0	5	26
		Rullain	2	3	26
	Ratakireys		Käyrä	Alkuarvo	
	-xx77		3	170* <= ongelma alkanut 28 konerullaa	
	xx78		1	220* aikaisemmin	
	Keskiömomentti		3	025*	
	Viivapaine		1	2.4*	
TAPAUS III	Konerullat	Hyvät Huonot	xx25-xx53 xx54-xx82		
	Lajit:	Hyvät Huonot	SCd-paperilaji (8), SCc-paperilaji (21) SCb-paperilaji (24), SCg-paperilaji (5)		
	Pohjien lkm		Ennen:	Jälkeen:	Yhteensä:
		SK	3	13	29
		PL	0	3	29
		Rullain	1	0	29
			Käyrä	Alkuarvo	
	Ratakireys		2	160*	
	Keskiömomentti		1	005*	
	Viivapaine		2	1.2*	

* = indeksoituja lukuja

TILASTOLLISEN TARKASTELUN TULOKSET LIITE 4 6(17)
RAJATTU TILASTOLLINEN TARKASTELU: SIIRTYMINEN
POHJAHYLKITILANTEeseen

TAPAUS IV	Konerullat	Hyvät	xx85-xx08		
		Huonot	xx09-xx33		
	Lajit:	Hyvät	SCg-paperilaji (10), SCk-paperilaji (15) SCm-paperilaji (15), SCk-paperilaji (10)		
		Huonot			
	Pohjien lkm		Ennen:	Jälkeen:	Yhteensä:
		SK	0	11	25
		PL	1	2	25
		Rullain	6	1	25
			Käyrä	Alkuarvo	
	Ratakireys		2	175*	
	Keskiömomentti		3	025*	
	Viivapaine		2	1.2*	

TAPAUS VII	Konerullat	Hyvät	xx92-xx27		
		Huonot	xx28-xx64		
	Lajit:	Hyvät	SCe-paperilaji (7), SCb-paperilaji (27) SCd-paperilaji (20), SCb-paperilaji (14)		
		Huonot			
	Pohjien lkm		Ennen:	Jälkeen:	Yhteensä:
		SK	5	24	35
		PL	4	5	35
		Rullain	6	5	35
			Käyrä	Alkuarvo	
konerullaa	Ratakireys	-xx37	2	160* <= muutos 11	
		xx38-	1	210*	ongelman alkamisesta
	Keskiömomentti		1	005*	
	Viivapaine		2	1.2*	

* = indeksoituja lukuja

TILASTOLLISEN TARKASTELUN TULOKSET LIITE 4 7(17) **RAJATTU TILASTOLLINEN TARKASTELU: SIIRTYMINEN** **POHJAHYLKITILANTEeseen**

TAPAUS VI Konerullat Hyvät xx85-xx09
Huonot xx10-xx34

Lajit: Hyvät SCk-paperilaji
Huonot SCk-paperilaji

Pohjien lkm	Ennen:	Jälkeen:	Yhteensä:
SK	1	3	25
PL	0	9	25
Rullain	8	4	25

	Käyrä	Alkuarvo
Ratakireys -x29	1	210* <= ongelma alkanut 18 konerullaa
x30-	2	160* aikaisemmin
Keskiömomentti	3	025*
Viivapaine -x28	2	1.2*
x29-x30	3	2.0*
x31-	2	1.2*

* = indeksoitu luku

TILASTOLLISEN TARKASTELUN TULOKSET LIITE 4 8(17)

RAJATTU TILASTOLLINEN TARKASTELU: SIIRTYMINEN
POHJAHYLKITILANTEeseen; YHTEENVETO VARIANSSIANALYYSISTÄ

	TAPAUKSET					
	I	II	III	IV	V	VI
Konerullan pituus						
Paperikoneen nopeus		1	1	1		1
K-kosteus						
K-Kosteuden hajonta				1	1	1
K-neliömassan hajonta		1	1	1		1
R-Kosteus		1	1	1	1	
R-Kosteuden hajonta				5		10
R-Neliömassan hajonta		1	5			1
R-Kuivapaino		1	1	1	5	
R-Tuhka		1	1	1		5
R-Paksuus		1	1	1	5	
Laboratorio neliömassa		1	1	1	1	1
Vetolujuus konesuunta		1	1	10		10
Vetolujuussuhde				10	5	5
Venymä konesuunta		5				10
Venymä poikkisuunta						
Ilmanläpäisevyys		1		1		1
B-karheus yläpuoli						10
B-karheus alapuoli		10		10	1	5
Orientaatio				5		
Täyteaine 1		1	1	1	1	5
Täyteaine 2			1	1		5
Täyteaine 3		1	1	5		
Yhteensä täyteainetta		1	1	1	1	5

Taulukon arvot ovat varianssianalyysin P-arvoja.

EROT SK-POHJAHYLLYSTEN KONERULLIEN SISÄLLÄ

Tiedon modifiointi:

Kaikki alle 1000 metriset "pohjat" poistettu

Kaikki katkotampuurit poistettu

28 SK-hylkyprosentti	1.00
13 SK-pohjametrit	0.97
61 Ratakireys alkuarvo	0.17
44 Kokonaispohjametrit	0.16
43 K-neliömassan hajonta	0.13
57 R-neliömassan hajonta	0.13
56 Täyteaine 3	0.10
21 Täyteaine 2	0.10
21 Paperilaji	0.09
45 R-tuhkapitoisuus	0.05
40 R-kosteuden hajonta	0.03
55 Täyteaine 1	0.02
42 Laboratorio neliömassa	0.02
38 R-kosteus	0.01
22 Neliömassa	0.00
59 Täyteainesuhde	0.00
58 Yhteensä täyteaine	-0.01
8 Viivapaine käyrä	-0.01
11 Keskiömom. arvo	-0.01
9 Viivapaine arvo	-0.02
10 Keskiömom. käyrä	-0.03
23 PK nopeus	-0.08
14 Konerullan pituus	-0.10
12 Ratakireys käyrä	-0.14
36 PL-pohjametrit	-0.40

TILASTOLLISEN TARKASTELUN TULOKSET LIITE 4 10(17)

EROT POHJAHYLYLLISTEN KONERULLIEN SISÄLLÄ

DATAN MODIFIOINTI

Kaikki alle 1000 metrin pituiset pohjat poistettu
Kaikki katkokonerullat poistettu

REGRESSIOANALYYSI

Vain muuttujat:

Ne muuttujat, joista on jokaisesta
konerullasta kaikki tiedot

Tekijät

8 Viivapaine käyrä	56 Täyteaine 2
9 Viivapaine alkuarvo	57 Täyteaine 3
10 Keskiöm. käyrä	58 Yhteensä täyteaine
11 Keskiöm. alkuarvo	38 R-kosteus
12 Ratakireys käyrä	40 R-kosteuden hajonta
13 Ratakireys alkuarvo	42 Laboratorio neliömassa
14 Konerullan pituus	43 R-neliömassa hajonta
21 Paperilaji	44 K-neliömassa hajonta
22 Neliömassa	45 R-tuhkapitoisuus
23 Paperikoneen nopeus	28A SC-hylkyprosentti
55 Täyteaine 1	61A Kokon. hylkyprosentti

KOKONAISHYLKYPROSENTIN SUHTEEN

Taaksepäi askeltava	D =	0.102 Keskiöm. alkuarvo
	E =	-0.2 Ratakireys alkuarvo
	G =	-0.17 Konerullan pituus
	S =	-0.13 K-neliömassa hajonta
	R2 =	0.08097
	POIKKEAMA =	14.1382

Eteenpäin askeltava	E =	-0.18 Ratakireys alkuarvo
	M =	-0.2 Täyteaine 3
	G =	-0.13 Konerullan pituus
	O =	0.122 R-kosteus
	S =	-0.14 K-neliömassa hajonta
	R2 =	-0.10384
	POIKKEAMA =	-0.70595

SC-HYLKYPROSENTIN SUHTEEN

Taaksepäi askeltava	F =	0.158 Ratakireyden alkuarvo
	G =	-0.14 Konerullan pituus
	S =	0.066 K-hajonta neliömassa
	R2 =	0.62174
	POIKKEAMA =	-0.23666

Eteenpäin askeltava	F =	0.176 Ratakireyden alkuarvo
	G =	-0.14 Konerullan pituus
	S =	0.115 K-hajonta neliömassa
	R2 =	0.05541
	POIKKEAMA =	329508 ?

EROT POHJAHYLYLLISTEN KONERULLIEN SISÄLLÄ

DATAN MODIFIOINTI

Kaikki alle 1000 metrin pituiset pohjat poistettu
Kaikki katkokonerullat poistettu

REGRESSIOANALYYSI

Vain muuttujat:

Kaikki tiedot per kohta

Tekijät

8 Viivapaine käyrä	43 R-neliömassa hajonta
9 Viivapaine alkuarvo	44 K-neliömassa hajonta
10 Keskiöm. käyrä	45 R-tuhkapitoisuus
11 Keskiöm. alkuarvo	37 K-kosteus
12 Ratakireys käyrä	39 K-kosteuden hajonta
13 Ratakireys alkuarvo	46 R-paksuus
14 Konerullan pituus	47 Vetolujuus konesuunta
21 Paperilaji	48 Vetolujuussuhde
22 Neliömassa	49 Venymä konesuunta
23 Paperikoneen nopeus	50 Venymä poikkisuunta
55 Täyteaine 1	51 Ilmanläpäisevyys
56 Täyteaine 2	52 B-karheus yläpuoli
57 Täyteaine 3	53 B-karheus alapuoli
58 Yhteensä täyteaine	41 R-kuivapaino
38 R-kosteus	54 Orientaatio
40 R-kosteuden hajonta	28A SC-hylkyprosentti
42 Laboratorio neliömassa	61A Kokon. hylkyprosentti

KOKONAISHYLKYPROSENTIN SUHTEEN

Taaksepäin		0
askeltava	R2 =	0
	POIKKEAMA =	0
Eteenpäin	D =	-0.26 R-kosteuden hajonta
askeltava	R2 =	0.14919
	POIKKEAMA =	92.36119

SC-HYLKYPROSENTIN SUHTEEN

Taaksepäin		0
askeltava	R2 =	0
	POIKKEAMA =	0
Eteenpäin	X =	-0.7 Vetolujuus konesuunta
askeltava	D =	-0.63 Kireysmom. alkuarvo
	T =	-0.68 R-tuhka
	K =	0.504 Täyteaine 1
	A =	0.372 Viivapaine käyrä
	L =	0.733 Täyteaine 2
	N =	-0.99 Yhteensä täyteaine
	Q =	2.59 Laboratorio neliömassa
	R2 =	0.53687
	POIKKEAMA =	11.4843

EROT POHJAHYLLISTEN KONERULLIEN SISÄLLÄ

EROT POHJAHYLLISTEN KONERULLIEN SISÄLLÄ

	8	9	10	11	12	13	14	21	22	23	55	56	57	58	38	40	42	43	44	45	28A	61A
8	6.5	1.7	0.6	4.3	3.9	5.2	2.6	2.9	1.8	1.7	3.6	2.4	5.0	1.6	1.4	2.0	1.8	1.3	1.7	3.9	0.3	0.5
9	4.3	3.5	0.9	2.7	4.3	6.5	1.4	3.3	2.1	1.9	3.6	2.8	3.5	1.9	2.6	4.5	1.6	2.5	3.3	2.8	2.1	2.0
10	4.0	2.0	1.1	4.7	3.9	3.5	1.7	1.0	1.6	0.6	4.4	2.4	3.4	1.8	2.2	3.1	1.4	2.6	3.6	2.9	0.6	0.6
11	2.6	1.5	0.9	9.0	4.5	4.0	1.6	1.8	1.7	1.3	5.1	3.9	3.2	1.5	2.1	2.2	2.0	1.3	2.2	3.0	1.1	0.5
12	2.4	9.7	9.0	4.9	7.3	3.1	12.9	18.6	9.8	14.9	3.5	8.2	2.4	3.1	2.8	17.4	4.9	15.5	18.8	2.2	5.6	4.0
13	2.9	8.3	5.3	4.6	4.1	6.8	9.5	13.2	2.4	7.7	4.8	5.8	3.4	3.6	2.1	10.5	1.6	8.8	9.3	4.1	1.8	0.9
14	2.3	3.7	4.0	2.6	2.5	3.4	9.7	2.9	3.6	5.5	2.8	3.8	3.6	2.0	7.0	1.8	3.5	2.4	2.0	5.4	4.6	2.1
21	3.1	2.4	0.9	3.7	3.5	2.4	2.0	3.0	1.9	0.9	4.2	2.6	2.7	1.6	3.2	1.5	1.4	1.1	1.6	2.8	1.0	0.6
22	2.0	1.4	1.4	4.6	6.0	2.9	1.5	1.7	2.2	1.7	3.7	1.8	3.0	3.1	4.7	2.8	1.5	1.0	1.6	5.3	1.9	0.6
23	1.8	1.6	1.2	3.9	3.2	3.9	1.6	2.5	2.4	1.8	3.9	2.1	3.7	3.9	4.8	1.8	2.6	1.2	1.4	3.6	0.2	0.5
55	2.0	1.3	0.6	3.9	4.8	5.6	2.5	1.9	2.2	0.9	8.1	2.6	3.9	2.1	1.2	2.0	1.1	1.0	2.5	2.3	0.3	0.6
56	2.9	1.3	1.0	5.1	4.4	2.7	3.9	1.8	1.8	1.0	5.2	3.7	4.0	1.9	1.5	1.8	1.2	0.7	1.6	3.4	0.2	0.4
57	2.6	2.5	1.2	4.6	3.9	3.0	1.8	1.5	3.0	1.0	4.3	3.3	4.1	1.5	2.6	1.7	1.6	0.8	1.8	2.5	1.5	1.2
58	3.1	2.1	0.6	3.9	4.6	2.9	3.0	1.5	1.7	0.7	3.9	1.7	3.4	3.6	3.2	3.4	1.3	0.8	2.9	6.2	0.5	0.4
38	2.4	1.9	0.7	4.5	4.0	3.3	2.5	1.4	2.3	0.9	2.8	2.1	1.9	1.5	2.6	2.3	1.2	1.1	1.6	2.4	0.2	0.7
40	2.9	1.2	0.5	3.9	4.2	4.1	1.2	3.0	2.6	0.9	3.5	2.4	2.9	1.9	0.8	7.8	1.5	0.8	2.4	4.1	0.2	0.4
42	2.1	1.6	1.4	4.6	4.4	3.7	1.7	1.8	1.6	1.9	4.2	2.0	2.7	3.2	4.2	2.6	1.7	1.2	1.7	4.7	1.9	0.7
43	2.8	1.4	0.6	6.9	5.1	7.5	2.7	2.6	1.6	0.8	4.2	1.7	5.0	2.8	2.3	1.8	1.1	3.5	4.4	5.5	0.3	0.4
44	2.1	2.0	0.6	4.8	5.7	4.0	2.5	2.0	1.5	0.7	4.3	1.7	2.9	3.0	2.4	1.9	2.1	1.3	4.1	2.3	0.3	0.7
45	2.4	1.1	1.0	4.1	4.7	4.3	1.7	1.6	1.8	1.4	2.8	2.2	4.0	2.0	4.5	3.5	1.6	0.7	2.4	7.4	1.2	0.5
28A	5.9	6.5	9.0	2.3	3.9	10.1	4.0	6.6	2.1	9.6	5.0	4.8	8.8	6.4	6.3	5.8	3.5	6.3	3.3	6.4	10.9	3.1
61A	36.7	41.2	57.3	6.4	7.2	7.1	27.9	23.4	48.2	42.0	12.0	36.1	22.5	46.0	35.4	17.7	59.8	44.2	25.9	16.9	63.3	78.6

HYVÄT VS HUONOT KONERULLAT

Tiedon modifiointi:

Hyvät ja huonot; 0-800 m ja > 1500 m

Kaikki kotkokonerullat poistettu

28 SK-hylkyprosentti	1.00
44 K-neliömassa hajonta	0.17
56 Täyteaine 2	0.16
45 R-Tuhkapitoisuus	0.16
42 Laboratorio neliömassa	0.13
22 Neliömassa	0.12
41 R-kuivapaino	0.12
46 R-paksuus	0.10
55 Täyteaine 1	0.10
58 Yhteensä täyteaine	0.10
13 Ratakireys arvo	0.09
21 Paperilaji	0.07
39 K-kosteuden hajonta	0.07
43 R-neliömassa hajonta	0.06
14 Konerullan pituus	0.06
57 Täyteaine 3	0.03
52 B-karheus yläpuolinen	0.02
40 R-kosteuden hajonta	0.02
11 Keskiömom. arvo	0.00
53 B-karheus alap.	0.00
37 K-kosteus	-0.02
50 Venymä poikkisuunta	-0.02
10 Keskiömom. käyrä	-0.03
54 Orientaatio	-0.05
12 Ratakireys käyrä	-0.06
8 Viivapaine käyrä	-0.06
9 Viivapaine arvo	-0.06
47 Veto konesuunta	-0.07
48 Vetolujuussuhde	-0.07
51 Ilmanläpäisevyys	-0.08
38 R-kosteus	-0.08
49 Venymä ks	-0.30

HYVÄT VS HUONOT KONERULLAT

DATAN MODIFIOINTI

Hyvät ja huonot eli pohjat 0-800 ja > 1500 metriä
Kaikki katkokonerullat poistettu

REGRESSIOANALYYSI

Vain muuttujat:

Ne muuttujat, joista on jokaiseesta
konerullasta tiedot

Tekijät

8 Viivapaine käyrä	56 Täyteaine 2
9 Viivapaine alkuarvo	57 Täyteaine 3
10 Keskiöm. käyrä	58 Täyteainevirtaus
11 Keskiöm. alkuarvo	38 R-kosteus
12 Ratakireys käyrä	40 R-kosteuden hajonta
13 Ratakireys alkuarvo	42 Laboratorio neliömassa
14 Konerullan pituus	43 R-neliömassa hajonta
21 Paperilaji	44 K-neliömassa hajonta
22 Neliömassa	45 R-tuhkapitoisuus
23 Paperikoneen nopeus	28A SC-hylkyprosentti
55 Täyteaine 1	61A Kokon. hylkyprosentti

KOKONAISHYLKYPROSENTIN SUHTEEN

Taaksepäin
askeltava

A = -0.06 Viivapaine alkuarvo
S = 0.72 R-tuhka
R2 = 0.09741
POIKKEAMA = -0.15776

Eteenpäin
askeltava

S = 0.19 R-tuhka
A = -0.05 Viivapaine alkuarvo
F = 0.59 Täyteaine 2
L = -0.13 R-kosteus
R2 = -0.10384
POIKKEAMA = -0.70595

SC-HYLKYPROSENTIN SUHTEEN

Taaksepäin
askeltava

F = 0.077 Ratakireyden alkuarvo
H = 0.095 Paperilaji
K = 0.064 K-hajonta neliömassa
N = -0.1 R-kosteus
R2 = 0.02155
POIKKEAMA = 2.82729

Eteenpäin
askeltava

F = 0.106 Ratakireyden alkuarvo
S = 0.08 R-tuhka
N = -0.06 R-kosteus
K = 0.068 Täyteaine2
E = 0.056 RK-käyrä
G = 0.062 Konerullan pituus
H = -0.069 Paperilaji
R2 = 0.02885
POIKKEAMA = -2.79747

HYVÄT VS HUONOT KONERULLAT

DATAN MODIFIOINTI

Hyvät ja huonot eli pohjat 0-800 ja > 1500 metriä
Kaikki katkokonerullat poistettu

REGRESSIOANALYYSI

Vain muuttujat:

Vain ne konerullat, joista on
kaikki tiedot.

Tekijät

- 8 Viivapaine käyrä

9 Viivapaine alkuarvo

10 Keskiöm. käyrä

11 Keskiöm. alkuarvo

12 Ratakireys käyrä

13 Ratakireys alkuarvo

14 Konerullan pituus

21 Paperilaji

22 Neliömassa

55 Täyteaine 1

56 Täyteaine 2

57 Täyteaine 3

58 Yhteensä täyteaine

38 R-kosteus

40 R-kosteuden hajonta

42 Laboratorio neliömassa
- 43 R-neliömassa hajonta

44 K-neliömassa hajonta

45 R-tuhkapitoisuus

37 K-kosteus

39 K-kosteuden hajonta

46 R-paksuus

47 Vetolujuus konesuunta

48 Vetolujuussuhde

49 Venymä konesuunta

50 Venymä poikkisuunta

51 Ilmanläpäisevyys

52 B-karheus yläpuoli

53 B-karheus alapuoli

41 R-kuivapaino

54 Orientaatio

28A SC-hylkyprosentti

61A Kokon. hylkyprosentti

KOKONAISHYLKYPROSENTIN SUHTEEN

Taaksepäin askeltava

R2 = 0

POIKKEAMA = 0

Eteenpäin askeltava

S = 0.315 R-tuhkapitoisuus

F = 0.183 Ratakireys alkuarvo

O = -0.15 R-kosteus

R2 = 0.0989

POIKKEAMA = -26.755

SC-HYLKYPROSENTIN SUHTEEN

Taaksepäin askeltava

G = 0.265 Konerullan kok.pituus

P = 0.311 Laboratorio neliömassa

R2 = 0.0564

POIKKEAMA = -0.15467

Eteenpäin askeltava

R = 0.21 R-neliömassa hajonta

P = 0.635 Laboratorio neliömassa

W = -0.28 Vetolujuus konesuunta

M = -0.41 Yhteensä täyteaine

L = -0.51 Täyteaine 3

K = 0.278 Täyteaine 2

D = -0.18 Kireysmom. alkuarvo

H = 0.474 Paperilaji

G = 0.205 Konerullan kokonaispit.

O = -0.16 R-kosteus

R2 = 0.17597

POIKKEAMA = -6.22021

HYVÄT VS HUONOT KONERULLAT:

MAR-ANALYYSIN TULOKSET

Hyvät vs huonot konerullat

VP käyrä	VP alkuarvo	KM käyrä	KM alkuarvo	RK käyrä	RK alkuarvo	SK-hylky	Kok.hylky
40.4	0.2	1.8	27.6	25.2	3.3	11.6	19.2
VP alkuarvo	13.9	32.7	18.1	30.1	31.2	6.3	3.0
KM käyrä	79.4	58.6	0.8	13.1	0.7	18.9	31.3
KM alkuarvo	5.8	1.3	52.5	6.2	0.6	25.9	6.2
RK käyrä	4.6	5.3	0.5	24.5	0.3	10.3	0.2
RK alkuarvo	3.8	0.3	0.2	0.5	63.2	4.8	12.3
SK-hylky	0.4	0.0	0.1	0.0	0.6	20.5	0.4
Kok.hylky	0.1	0.0	0.3	0.3	0.0	1.8	27.4

Kok-pituus	Paperilaji	Neliömassa	Täyteaine 1	Täyteaine 2	Täyteaine 3	SK-hylky	Kok.hylky
74.0	0.2	8.6	0.5	1.3	2.9	4.1	0.8
Paperilaji	73.2	19.8	3.5	0.6	34.8	0.2	2.5
Neliömassa	1.4	44.6	1.6	0.5	13.6	0.2	0.9
Täyteaine 1	5.0	0.4	90.3	42.1	0.8	3.0	43.5
Täyteaine 2	1.3	6.9	0.0	53.4	0.2	3.8	0.2
Täyteaine 3	18.2	19.5	2.9	1.7	47.4	0.7	2.6
SK-hylky	0.5	0.2	0.5	0.2	0.2	87.0	1.2
Kok.hylky	0.2	0.0	0.6	0.2	0.1	1.1	48.4

Yht. täyteaine	R-kosteus	R-kost. haj	LAB g/m2	R-haj g/m2	R-haj g/m2	R-tuhka	SK-hylky	Kok.hylky
71.2	2.0	0.7	18.4	3.5	2.9	19.5	2.4	0.5
R-kosteus	81.6	5.4	23.6	1.0	3.1	48.5	1.8	8.3
R-kost. haj	0.0	43.8	0.1	4.1	1.4	6.9	0.9	0.7
LAB g/m2	3.0	0.7	38.3	0.8	0.4	15.3	2.4	7.6
R-haj g/m2	2.1	24.0	0.5	71.3	21.7	1.6	17.0	2.1
R-haj g/m2	9.7	22.8	0.6	18.5	69.6	0.8	22.5	1.0
R-tuhka	1.3	2.3	18.3	0.6	0.4	7.2	0.8	4.3
SK-hylky	0.3	0.3	0.1	0.1	0.6	0.3	50.9	1.8
Kok.hylky	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	1.3	73.6

TAAJUUSANALYYSI

Muuttujat:	Konerullan kokonaispituus
	SK-pohjahylkypituus
	PL-pohjaylkypituus
	Kokonaishylkypituus

JAKSOLLISUUS

Jaksollisuuden pituus konerullissa

Järjestys	Pituus	SK	PL	Kok.hylky
1	170.66	819.2	819.2	819.2
2	107.79	292.57	4096	4096
3	70.62	10.89	2048	186.18
4	1365.33	170.66	102.4	102.4
5	80.31	186.18	2.09	2.039
6	178.09	8.87	13.79	3.543
7	585.14	87.15	74.47	512
8	89.04	16.9	21.56	74.47
9	62.06	80.31	5.8	8.83
10	819.2	3.54	5.81	24.24

SEURANTAKOEAJON MUUTTUJAT

SEURANTAKOEAJON MUUTTUJAT

KOEPISTE			Konerulla	1	KITKA	Liike/pohja	Keski	40	TAPIO	Kiilto ap/pinta	KA	80
VAIHTO	AJKA		Vaihtoajka	2	KITKA	Liike/pohja	1/4 KP	41	TAPIO	Kiilto ap/pinta	Max-min	81
Pull-tab	HP		Voima	3	KITKA	Liike/pohja	KP	42	TAPIO	Kiilto ap/pinta	Käyrämuot.	82
Pull-tab	HP		Voima/cm2	4	KITKA	Liike/pohja	Keskiarvo	43	TAPIO	Tiheys/pinta	KA	83
Pull-tab	HP		Voima	5	KITKA	Liike/pohja	Hajonta	44	TAPIO	Tiheys/pinta	Max-min	84
Pull-tab	KP		Voima/cm2	6	KITKA	Liike/pinta	1/4 HP	45	TAPIO	Tiheys/pinta	Käyrämuot.	85
St.sähkö	Ennen		HP/pohja	7	KITKA	Liike/pinta	Keski	46	TAPIO	Neliömassa/pinta	KA	86
St.sähkö	Ennen		HP/Pinta	8	KITKA	Liike/pinta	1/4 KP	47	TAPIO	Neliömassa/pinta	Max-min	87
St.sähkö	Ennen		KP/Pohja	9	KITKA	Liike/pinta	KP	48	TAPIO	Neliömassa/pinta	Kok.haj.	88
St.sähkö	Ennen		KP/Pinta	10	KITKA	Liike/pinta	Keskiarvo	49	TAPIO	Neliömassa/pinta	CD-haj.	89
St.sähkö	Ennen		KA	11	KITKA	Liike/pinta	Hajonta	50	TAPIO	Neliömassa/pinta	MD-haj.	90
St.sähkö	Pysäht.		HP/pohja	12	KITKA	Liike/pinta	Hajonta	51	TAPIO	Neliömassa/pinta	Jäännöshaj.	91
St.sähkö	Pysäht.		HP/Pinta	13	LÄMPÄKAMERA	Pohja T	konerulella	52	TAPIO	Neliömassa/pinta	Käyrämuot.	92
St.sähkö	Pysäht.		KP/Pohja	14	LÄMPÄKAMERA	Pohja T	+ arvo	53	TAPIO	Bulkkipinta	Laskettu	93
St.sähkö	Pysäht.		KP/Pinta	15	LÄMPÄKAMERA	Jarrutus	Pohja	54	TAPIO	Paksuus/pohja	KA	94
St.sähkö	Pysäht.		KA	16	LÄMPÄKAMERA	Raita	Vyö, aikaa	55	TAPIO	Paksuus/pohja	Max-min	95
St.sähkö	SK:lla		HP/pohja	17	LÄMPÄKAMERA	Raita	leveys	56	TAPIO	Paksuus/pohja	Kok.haj.	96
St.sähkö	SK:lla		HP/Pinta	18	LÄMPÄKAMERA	Raita	Lämpötila	57	TAPIO	Paksuus/pohja	CD-haj.	97
St.sähkö	SK:lla		KP/Pohja	19	LÄMPÄKAMERA	Loppu konerulella	Kok. T	58	TAPIO	Paksuus/pohja	MD-haj.	98
St.sähkö	SK:lla		KP/Pinta	20	ACCURAY	R-kosteus	Yläpuolinen	59	TAPIO	Paksuus/pohja	Jäännöshaj.	99
St.sähkö	SK:lla		[min]	21	ACCURAY	R-kosteus	Alapuolinen	60	TAPIO	Paksuus/pohja	Käyrämuot.	100
THEY'S	Levottom.		[vis.havainto]	22	ACCURAY	PPTuhka	Yläpuolinen	61	TAPIO	Kiilto yp/pohja	KA	101
THEY'S	Pikkikkyys			23	ACCURAY	PPTuhka	Alapuolinen	62	TAPIO	Kiilto yp/pohja	Max-min	102
KITKA	Lepo/pohja		HP	24	ACCURAY	PNeliömassa	Yläpuolinen	63	TAPIO	Kiilto yp/pohja	Käyrämuot.	103
KITKA	Lepo/pohja		1/4 HP	25	ACCURAY	PNeliömassa	Alapuolinen	64	TAPIO	Transmissio/pohja	KA	104
KITKA	Lepo/pohja		Keski	26	ACCURAY	K-Kosteus	Yläpuolinen	65	TAPIO	Transmissio/pohja	Max-min	105
KITKA	Lepo/pohja		1/4 KP	27	ACCURAY	K-Kosteus	Alapuolinen	66	TAPIO	Transmissio/pohja	Käyrämuot.	106
KITKA	Lepo/pohja		KP	28	TAPIO	Paksuus/pinta	KA	67	TAPIO	Kiilto ap/pohja	KA	107
KITKA	Lepo/pohja		Keskiarvo	29	TAPIO	Paksuus/pinta	Max-min	68	TAPIO	Kiilto ap/pohja	Max-min	108
KITKA	Lepo/pohja		Hajonta	30	TAPIO	Paksuus/pinta	Kok.haj.	69	TAPIO	Kiilto ap/pohja	Käyrämuot.	109
KITKA	Lepo/pinta		HP	31	TAPIO	Paksuus/pinta	CD-haj.	70	TAPIO	Tiheys/pohja	KA	110
KITKA	Lepo/pinta		1/4 HP	32	TAPIO	Paksuus/pinta	MD-haj.	71	TAPIO	Tiheys/pohja	Max-min	111
KITKA	Lepo/pinta		Keski	33	TAPIO	Paksuus/pinta	Jäännöshaj.	72	TAPIO	Tiheys/pohja	Käyrämuot.	112
KITKA	Lepo/pinta		1/4 KP	34	TAPIO	Paksuus/pinta	Käyrämuot.	73	TAPIO	Neliömassa/pohja	KA	113
KITKA	Lepo/pinta		KP	35	TAPIO	Kiilto yp/pinta	KA	74	TAPIO	Neliömassa/pohja	Max-min	114
KITKA	Lepo/pinta		Keskiarvo	36	TAPIO	Kiilto yp/pinta	Max-min	75	TAPIO	Neliömassa/pohja	Kok.haj.	115
KITKA	Lepo/pinta		Hajonta	37	TAPIO	Kiilto yp/pinta	Käyrämuot.	76	TAPIO	Neliömassa/pohja	CD-haj.	116
KITKA	Liike/pohja		HP	38	TAPIO	Transmissio/pinta	KA	77	TAPIO	Neliömassa/pohja	MD-haj.	117
KITKA	Liike/pohja		1/4 HP	39	TAPIO	Transmissio/pinta	Max-min	78	TAPIO	Neliömassa/pohja	Jäännöshaj.	118
					TAPIO	Transmissio/pinta	Käyrämuot.	79	TAPIO	Neliömassa/pohja	Käyrämuot.	119
TAPIO	Bulkkipohja		Laskettu	120	TAPIO IND	Kiilto ap/pohja	KP/X	160	TAPIO IND:Y*Y/X	Kiilto yp/pohja	HP	200
TAPIO	Bulkki		erotus	121	TAPIO IND	Kiilto ap/pohja	KP/Y	161	TAPIO IND:Y*Y/X	Kiilto yp/pohja	KP	201
TAPIO IND	Paksuus/pinta		HP/X	122	TAPIO IND	Tiheys/pohja	HP/X	162	TAPIO IND:Y*Y/X	Transmissio/pohja	HP	202
TAPIO IND	Paksuus/pinta		HP/Y	123	TAPIO IND	Tiheys/pohja	HP/Y	163	TAPIO IND:Y*Y/X	Transmissio/pohja	KP	203
TAPIO IND	Paksuus/pinta		KP/X	124	TAPIO IND	Tiheys/pohja	KP/X	164	TAPIO IND:Y*Y/X	Transmissio/pohja	HP	204
TAPIO IND	Paksuus/pinta		KP/Y	125	TAPIO IND	Tiheys/pohja	KP/Y	165	TAPIO IND:Y*Y/X	Transmissio/pohja	KP	205
TAPIO IND	Kiilto yp/pinta		HP/X	126	TAPIO IND	Neliömassa/pohja	HP/X	166	TAPIO IND:Y*Y/X	Kiilto ap/pinta	HP	206
TAPIO IND	Kiilto yp/pinta		HP/Y	127	TAPIO IND	Neliömassa/pohja	HP/Y	167	TAPIO IND:Y*Y/X	Kiilto ap/pinta	KP	207
TAPIO IND	Kiilto yp/pinta		KP/X	128	TAPIO IND	Neliömassa/pohja	KP/X	168	TAPIO IND:Y*Y/X	Kiilto ap/pohja	HP	208
TAPIO IND	Kiilto yp/pinta		KP/Y	129	TAPIO IND	Neliömassa/pohja	KP/Y	169	TAPIO IND:Y*Y/X	Kiilto ap/pohja	KP	209
TAPIO IND	Transmissio/pinta		HP/X	130	TAPIO IND:Y/X	Paksuus/pinta	HP	170	TAPIO IND:Y*Y/X	Tiheys pinta	HP	210
TAPIO IND	Transmissio/pinta		HP/Y	131	TAPIO IND:Y/X	Paksuus/pinta	KP	171	TAPIO IND:Y*Y/X	Tiheys pinta	KP	211
TAPIO IND	Transmissio/pinta		KP/X	132	TAPIO IND:Y/X	Paksuus/pohja	HP	172	TAPIO IND:Y*Y/X	Tiheys/pohja	HP	212
TAPIO IND	Transmissio/pinta		KP/Y	133	TAPIO IND:Y/X	Paksuus/pohja	KP	173	TAPIO IND:Y*Y/X	Tiheys/pohja	KP	213
TAPIO IND	Kiilto ap/pinta		HP/X	134	TAPIO IND:Y/X	Kiilto yp/pinta	HP	174	TAPIO IND:Y*Y/X	Neliömassa/pinta	HP	214
TAPIO IND	Kiilto ap/pinta		HP/Y	135	TAPIO IND:Y/X	Kiilto yp/pinta	KP	175	TAPIO IND:Y*Y/X	Neliömassa/pinta	KP	215
TAPIO IND	Kiilto ap/pinta		KP/X	136	TAPIO IND:Y/X	Kiilto yp/pohja	HP	176	TAPIO IND:Y*Y/X	Neliömassa/pohja	HP	216
TAPIO IND	Kiilto ap/pinta		KP/Y	137	TAPIO IND:Y/X	Kiilto yp/pohja	KP	177	TAPIO IND:Y*Y/X	Neliömassa/pohja	KP	217
TAPIO IND	Tiheys pinta		HP/X	138	TAPIO IND:Y/X	Transmissio/pinta	HP	178	SK	numero		218
TAPIO IND	Tiheys pinta		HP/Y	139	TAPIO IND:Y/X	Transmissio/pinta	KP	179	KONERULLA	KOKONAIS-	PITUUS	219
TAPIO IND	Tiheys pinta		KP/X	140	TAPIO IND:Y/X	Transmissio/pohja	HP	180	POHJA	SK	[m]	220
TAPIO IND	Tiheys pinta		KP/Y	141	TAPIO IND:Y/X	Transmissio/pohja	KP	181	POHJA	Leikkuri	[m]	221
TAPIO IND	Neliömassa/pinta		HP/X	142	TAPIO IND:Y/X	Kiilto ap/pinta	HP	182	POHJA	KOKONAIS	[m]	222
TAPIO IND	Neliömassa/pinta		HP/Y	143	TAPIO IND:Y/X	Kiilto ap/pinta	KP	183	POHJA	Pohja-	tyyppi	223
TAPIO IND	Neliömassa/pinta		KP/X	144	TAPIO IND:Y/X	Kiilto ap/pohja	HP	184	SK		[mm]	224
TAPIO IND	Neliömassa/pinta		KP/Y	145	TAPIO IND:Y/X	Kiilto ap/pohja	KP	185				
TAPIO IND	Paksuus/pohja		HP/X	146	TAPIO IND:Y/X	Tiheys pinta	HP	186				
TAPIO IND	Paksuus/pohja		HP/Y	147	TAPIO IND:Y/X	Tiheys pinta	KP	187				
TAPIO IND	Paksuus/pohja		KP/X	148	TAPIO IND:Y/X	Tiheys/pohja	HP	188				
TAPIO IND	Paksuus/pohja		KP/Y	149	TAPIO IND:Y/X	Tiheys/pohja	KP	189				
TAPIO IND	Kiilto yp/pohja		HP/X	150	TAPIO IND:Y/X	Neliömassa/pinta	HP	190				
TAPIO IND	Kiilto yp/pohja		HP/Y	151	TAPIO IND:Y/X	Neliömassa/pinta	KP	191				
TAPIO IND	Kiilto yp/pohja		KP/X	152	TAPIO IND:Y/X	Neliömassa/pohja	HP	192				
TAPIO IND	Kiilto yp/pohja		KP/Y	153	TAPIO IND:Y/X	Neliömassa/pohja	KP	193				
TAPIO IND	Transmissio/pohja		HP/X	154	TAPIO IND:Y*Y/X	Paksuus/pinta	HP	194				
TAPIO IND	Transmissio/pohja		HP/Y	155	TAPIO IND:Y*Y/X	Paksuus/pinta	KP	195				
TAPIO IND	Transmissio/pohja		KP/X	156	TAPIO IND:Y*Y/X	Paksuus/pohja	HP	196				
TAPIO IND	Transmissio/pohja		KP/Y	157	TAPIO IND:Y*Y/X	Paksuus/pohja	KP	197				
TAPIO IND	Kiilto ap/pohja		HP/X	158	TAPIO IND:Y*Y/X	Kiilto yp/pinta	HP	198				
TAPIO IND	Kiilto ap/pohja		HP/Y	159	TAPIO IND:Y*Y/X	Kiilto yp/pinta	KP	199				

KORRELAATIOANALYYSIN TULOKSET S_{CE}-PAPERILAJILLA

KORRELAATIO	S _{CE} -paperilaji		SK-hylky	KORRELAATIO	S _{CE} -paperilaji		Kok.hylky
POHJA	SK	[m]	1	POHJA	KOKONAIS	[m]	1
TAPIO IND	Kiilto ap/pohja	KP/Y	0.92539	POHJA	Leikkuri	[m]	0.83272
TAPIO IND:Y/X	Kiilto ap/pohja	KP	0.91771	TAPIO IND:Y*Y/X	Paksuus/pohja	KP	-0.637
KITKA	Lepo/pinta	1/4 KP	-0.8916	TAPIO IND:Y*Y/X	Transmissio/pinta	HP	-0.6303
TAPIO	Neliömassa/pinta	Käyrämuot.	0.87194	KITKA	Liike/pohja	HP	-0.5992
TAPIO IND:Y/X	Paksuus/pohja	KP	-0.8494	TAPIO IND	Transmissio/pinta	HP/Y	-0.5983
TAPIO IND:Y/X	Tiheys/pohja	KP	-0.7871	TAPIO	Neliömassa/pohja	Kok.haj.	0.59525
TAPIO IND	Kiilto yp/pohja	KP/Y	0.76503	TAPIO IND:Y/X	Transmissio/pohja	KP	0.59035
TAPIO	Paksuus/pohja	CD-haj.	-0.7619	TAPIO IND:Y/X	Paksuus/pohja	KP	-0.5827
TAPIO IND	Transmissio/pinta	KP/X	-0.7544	TAPIO IND	Paksuus/pohja	HP/Y	-0.5804
KITKA	Liike/pinta	KP	-0.7204	TAPIO IND	Paksuus/pohja	KP/Y	-0.5796
TAPIO IND:Y*Y/X	Tiheys/pohja	KP	-0.7066	TAPIO IND:Y*Y/X	Transmissio/pohja	KP	0.57099
ACCURAY	PPtuhka	Alapuolinen	-0.6723	St.sähkö	SK:lla	KP/Pinta	-0.5659
TAPIO IND:Y/X	Transmissio/pinta	KP	0.67052	St.sähkö	SK:lla	KA	-0.5659
TAPIO IND:Y*Y/X	Transmissio/pohja	KP	0.6587	TAPIO	Neliömassa/pohja	MD-haj.	0.5598
TAPIO IND	Kiilto yp/pinta	HP/X	0.64591	TAPIO IND	Neliömassa/pohja	KP/Y	-0.5457
TAPIO IND:Y/X	Paksuus/pohja	HP	0.63476	TAPIO IND	Neliömassa/pinta	KP/X	0.53017
TAPIO	Paksuus/pohja	Max-min	-0.6345	TAPIO IND:Y*Y/X	Kiilto ap/pinta	KP	-0.5264
KITKA	Liike/pinta	1/4 HP	-0.6206	TAPIO	Neliömassa/pohja	Jäännöshaj.	0.52535
TAPIO IND:Y*Y/X	Kiilto yp/pohja	KP	0.61099	TAPIO IND	Paksuus/pinta	HP/X	-0.5213
KITKA	Lepo/pinta	Keskisarvo	-0.5991	LÄMPÄKAMERA	Loppu kr	Kok. T	-0.5124
TAPIO	Kiilto yp/pohja	Max-min	0.59807	St.sähkö	Pysäht.	KP/Pinta	0.50725
KITKA	Lepo/pohja	1/4 KP	0.58831	SK	numero		-0.503
TAPIO IND	Transmissio/pohja	KP/Y	0.58226	TAPIO IND:Y/X	Transmissio/pinta	HP	-0.4995
KITKA	Lepo/pohja	Keskisarvo	0.58144	TAPIO	Paksuus/pohja	Kok.haj.	0.49685
TAPIO IND	Paksuus/pohja	KP/Y	-0.5718	TAPIO	Kiilto yp/pinta	Käyrämuot.	-0.4953
TAPIO IND	Tiheys/pohja	KP/X	-0.5708	TAPIO IND:Y/X	Transmissio/pinta	KP	0.49156
TAPIO	Paksuus/pohja	KA	0.5634	TAPIO IND	Transmissio/pohja	KP/Y	0.47983
TAPIO IND	Tiheys/pohja	HP/Y	0.54914	TAPIO IND:Y/X	Transmissio/pohja	HP	0.47476
TAPIO IND:Y/X	Kiilto yp/pohja	KP	0.54496	KITKA	Liike/pohja	1/4 KP	-0.4661
TAPIO IND:Y/X	Transmissio/pohja	KP	0.54295	Pull-tab	KP	Voima/cm2	0.46177
TAPIO IND:Y*Y/X	Kiilto ap/pohja	KP	0.54158	KITKA	Lepo/pinta	HP	-0.4503
TAPIO	Kiilto ap/pohja	Max-min	0.5409	TAPIO	Neliömassa/pohja	Max-min	-0.4477
TAPIO	Tiheys/pohja	Max-min	-0.5286	KITKA	Lepo/pohja	1/4 HP	0.4439
TAPIO IND	Tiheys pinta	HP/Y	0.51217	TAPIO	Paksuus/pohja	Käyrämuot.	-0.4394
TAPIO IND	Tiheys/pohja	KP/Y	0.50197	TAPIO IND:Y/X	Paksuus/pinta	HP	0.43757
TAPIO IND:Y/X	Neliömassa/pinta	KP	-0.4989	TAPIO	Neliömassa/pohja	Käyrämuot.	-0.4327
TAPIO IND:Y*Y/X	Tiheys/pohja	HP	-0.4692	TAPIO IND:Y*Y/X	Transmissio/pohja	HP	0.42803
TAPIO	Paksuus/pinta	MD-haj.	0.46072	TAPIO IND	Kiilto yp/pohja	HP/Y	0.42705
TAPIO IND:Y*Y/X	Tiheys pinta	HP	-0.4574	TAPIO IND	Neliömassa/pinta	KP/Y	-0.4251
ACCURAY	K-Kosteus	Yläpuolinen	0.4418	TAPIO	Tiheys/pinta	KA	0.42385
TAPIO	Paksuus/pohja	Käyrämuot.	-0.4339	TAPIO IND	Kiilto yp/pinta	KP/X	-0.4143
St.sähkö	Ennen	KP/Pinta	0.43382	TAPIO IND	Transmissio/pohja	HP/X	-0.4135
KITKA	Lepo/pinta	HP	-0.4332	TAPIO IND	Kiilto yp/pohja	KP/X	-0.4098
TAPIO	Neliömassa/pohja	Max-min	-0.4292	KITKA	Lepo/pohja	KP	-0.4064
TAPIO	Neliömassa/pohja	KA	0.42905	TAPIO IND	Transmissio/pohja	KP/X	-0.406
TAPIO IND:Y/X	Tiheys/pohja	HP	-0.4204	TAPIO	Paksuus/pinta	Kok.haj.	0.40057
TAPIO IND:Y/X	Tiheys pinta	HP	0.41911	TAPIO IND:Y*Y/X	Transmissio/pinta	KP	0.39714
TAPIO IND:Y*Y/X	Neliömassa/pinta	KP	0.41858	KITKA	Liike/pohja	KP	-0.3939
TAPIO IND:Y/X	Neliömassa/pohja	KP	0.41841	KITKA	Liike/pinta	Keskisarvo	-0.3881
TAPIO IND	Transmissio/pinta	HP/Y	-0.4177	TAPIO	Bulkki/pinta	Laskettu	-0.382
KITKA	Liike/pohja	Hajonta	-0.399	TAPIO IND:Y/X	Kiilto ap/pohja	KP	0.37374
TAPIO	Neliömassa/pinta	Kok.haj.	-0.3915	KITKA	Lepo/pinta	1/4 KP	-0.3719
TAPIO IND:Y/X	Transmissio/pohja	HP	0.39002	TAPIO IND:Y/X	Neliömassa/pohja	KP	0.3582
TAPIO IND:Y*Y/X	Transmissio/pinta	KP	0.37965	TAPIO	Paksuus/pohja	MD-haj.	0.3572
TAPIO IND	Transmissio/pinta	HP/X	-0.3692	LÄMPÄKAMERA	Jamutus	Pohja	-0.3568
TAPIO IND	Tiheys/pohja	HP/X	-0.3643	TAPIO	Paksuus/pinta	MD-haj.	0.35385
LÄMPÄKAMERA	Raita	Vyöht. alkaa	-0.3631	TAPIO IND	Tiheys pinta	KP/Y	-0.3495
KITKA	Liike/pohja	KP	0.36288	TIHEYS	Piikkikyys	[vis.havainto]	-0.3441
TAPIO IND	Neliömassa/pohja	KP/X	-0.3627	TAPIO IND	Transmissio/pinta	KP/Y	0.33813
TAPIO	Paksuus/pinta	Max-min	-0.3606	TAPIO IND	Kiilto yp/pohja	HP/X	-0.3362
TAPIO IND	Kiilto yp/pohja	KP/X	-0.3548	TAPIO	Bulkki/pohja	Laskettu	-0.3351
KITKA	Liike/pinta	Hajonta	-0.3533	TAPIO	Tiheys/pohja	Käyrämuot.	-0.3336
TAPIO IND:Y*Y/X	Neliömassa/pohja	HP	0.3499	KITKA	Lepo/pinta	Keskisarvo	-0.3326
TAPIO	Transmissio/pinta	KA	0.34548	KITKA	Liike/pohja	Keski	0.32675
TAPIO	Kiilto yp/pinta	KA	0.3439	TAPIO	Neliömassa/pinta	MD-haj.	-0.3261
TAPIO IND:Y*Y/X	Paksuus/pohja	KP	-0.3426	KITKA	Liike/pinta	Hajonta	-0.3246
TAPIO IND:Y/X	Neliömassa/pohja	HP	0.34236	TAPIO	Neliömassa/pinta	Käyrämuot.	0.3211
TAPIO IND	Transmissio/pohja	HP/X	-0.3373	TAPIO	Tiheys/pohja	KA	0.31955

KORRELAATIOANALYYSIN TULOKSET SCj-PAPERILAJILLA

KORRELAATIO	SCj-paperilaji	SK-hylky	KORRELAATIO	SCj-paperilaji	Kok.hylky
POHJA	SK	[m] 1	POHJA	KOKONAI	[m] 1
LÄMPÄKAMERA	Raita	leveys 0.83689	POHJA	Leikkuri	[m] 0.97039
Pull-tab	HP	Voima/cm2 0.80373	TAPIO IND:Y*Y/X	Paksuus/pohja	KP 0.84943
Pull-tab	HP	Voima 0.78314	TAPIO IND	Neliömassa/pinta	HP/X 0.83562
LÄMPÄKAMERA	Raita	Vyö. alkaa 0.73534	TAPIO	Neliömassa/pohja	KA 0.83352
TAPIO	Neliömassa/pohja	KA 0.66401	POHJA	SK	[m] 0.65105
TAPIO IND:Y*Y/X	Paksuus/pinta	HP -0.6566	TAPIO	Kiilto ap/pinta	Käyrämuot. 0.63661
TAPIO IND	Paksuus/pinta	HP/Y -0.6535	TAPIO IND:Y/X	Paksuus/pohja	KP 0.59813
TIHEYS	Piikkikyys	[vis.havainto] 0.64445	TAPIO	Paksuus/pohja	Jäännöshaj. 0.59426
TAPIO	Transmissio/pinta	KA -0.6181	TAPIO	Paksuus/pohja	KA 0.58844
TAPIO IND:Y/X	Paksuus/pinta	HP -0.6171	TAPIO IND	Paksuus/pohja	KP/Y 0.58041
TAPIO	Paksuus/pohja	KA -0.59715	TAPIO	Paksuus/pinta	Käyrämuot. -0.5752
TAPIO IND	Kiilto yp/pohja	KP/Y 0.59617	TIHEYS	Piikkikyys	[vis.havainto] 0.5535
TAPIO	Transmissio/pohja	Max-min 0.5903	LÄMPÄKAMERA	Raita	leveys 0.54533
TAPIO IND	Neliömassa/pinta	HP/X 0.5606	TAPIO IND	Tiheys pinta	HP/X 0.52692
KITKA	Lepo/pohja	1/4 HP -0.5578	TAPIO IND	Paksuus/pinta	HP/Y -0.5089
TAPIO	Neliömassa/pohja	Max-min 0.54519	TAPIO IND	Neliömassa/pinta	KP/X 0.48268
TAPIO	Paksuus/pohja	CD-haj. -0.5426	TAPIO IND:Y/X	Tiheys pinta	HP 0.47848
ACCURAY	PPneliömassa	Yläpuolinen 0.53656	LÄMPÄKAMERA	Raita	Vyö. alkaa 0.47527
TAPIO IND	Kiilto yp/pohja	KP/X -0.5295	TAPIO IND	Neliömassa/pohja	HP/X -0.4746
TAPIO IND	Neliömassa/pinta	KP/X 0.51659	TAPIO IND	Kiilto yp/pohja	KP/Y 0.47257
St.sähkö	SK:lla	KP/Pohja -0.5093	LÄMPÄKAMERA	Jarrutus	Pohja -0.4566
TAPIO	Kiilto yp/pinta	Max-min -0.4932	TAPIO	Neliömassa/pohja	Jäännöshaj. 0.45502
TAPIO	Neliömassa/pohja	Käyrämuot. -0.4591	TAPIO IND:Y*Y/X	Paksuus/pinta	HP -0.4534
TAPIO	Paksuus/pohja	Kok.haj. -0.4509	TAPIO IND	Tiheys pinta	KP/X 0.45033
TAPIO	Paksuus/pinta	Käyrämuot. -0.4488	TAPIO IND	Kiilto yp/pohja	KP/X -0.4481
TAPIO IND	Neliömassa/pohja	HP/X -0.4401	TAPIO IND	Tiheys pinta	KP/Y 0.44405
TAPIO IND	Kiilto yp/pohja	HP/Y 0.43622	TAPIO	Bulkki/pohja	Laskettu -0.4397
LÄMPÄKAMERA	Transmissio/pinta	Käyrämuot. -0.4358	TAPIO	Transmissio/pinta	Max-min -0.4376
TAPIO	Jarrutus	Pohja -0.4275	TAPIO IND:Y*Y/X	Tiheys pinta	HP -0.4228
TAPIO	Kiilto yp/pohja	Max-min -0.426	TAPIO	Neliömassa/pohja	Max-min 0.42236
TAPIO IND:Y*Y/X	Kiilto yp/pohja	KP -0.4237	TAPIO IND	Paksuus/pinta	KP/Y -0.4215
SC	numero	0.4218	ACCURAY	PPneliömassa	Yläpuolinen 0.41063
TAPIO	Paksuus/pohja	Max-min -0.4193	TAPIO	Paksuus/pohja	CD-haj. -0.4072
ACCURAY	PPneliömassa	Alapuolinen 0.4191	TAPIO IND:Y/X	Paksuus/pinta	HP -0.3995
TAPIO	Kiilto yp/pohja	Käyrämuot. 0.41278	TAPIO	Tiheys/pohja	KA 0.39414
KITKA	Liike/pinta	1/4 HP 0.4104	TAPIO IND:Y/X	Tiheys/pohja	KP 0.38866
TAPIO IND	Paksuus/pohja	HP/Y -0.392	TAPIO	Kiilto ap/pinta	Max-min -0.3779
TAPIO IND:Y*Y/X	Transmissio/pohja	KP -0.3873	LÄMPÄKAMERA	Alku T	+ - arvo 0.37322
St.sähkö	Pysäht.	KA -0.3863	KITKA	Liike/pinta	1/4 HP 0.36555
TAPIO IND	Transmissio/pohja	KP/Y -0.3572	TAPIO IND:Y*Y/X	Paksuus/pinta	KP -0.3648
TAPIO IND:Y/X	Transmissio/pinta	HP 0.34677	TAPIO IND:Y*Y/X	Tiheys pinta	KP -0.3642
TAPIO	Neliömassa/pinta	Kok.haj. -0.3457	TAPIO	Kiilto ap/pinta	KA -0.3522
St.sähkö	Ennen	KP/Pinta -0.3456	TAPIO IND	Kiilto yp/pohja	HP/X -0.3522
St.sähkö	Pysäht.	KP/Pohja -0.3382	TAPIO IND:Y/X	Tiheys pinta	KP 0.3448
TAPIO IND:Y*Y/X	Transmissio/pinta	HP 0.33604	TAPIO IND:Y/X	Transmissio/pohja	HP 0.34458
TAPIO IND:Y/X	Transmissio/pohja	KP -0.3307	TAPIO IND	Tiheys/pohja	KP/X -0.3418
St.sähkö	Pysäht.	HP/pohja -0.3297	TAPIO	Neliömassa/pohja	CD-haj. -0.3413
Pull-tab	KP	Voima/cm2 0.32627	KITKA	Lepo/pohja	Hajonta -0.3408
Pull-tab	KP	Voima 0.32197	KITKA	Lepo/pohja	1/4 KP -0.34
TAPIO IND	Neliömassa/pinta	KP/Y -0.3182	TAPIO IND	Neliömassa/pinta	KP/Y -0.3389
LÄMPÄKAMERA	Loppu kr	Kok. T -0.3029	TAPIO	Neliömassa/pohja	Kok.haj. 0.33037
St.sähkö	Pysäht.	KP/Pinta -0.3016	TAPIO IND:Y/X	Neliömassa/pinta	HP 0.32588
TAPIO IND	Transmissio/pinta	HP/Y 0.29995	TAPIO IND:Y*Y/X	Tiheys/pohja	KP 0.32204
KITKA	Lepo/pohja	Keskiarvo -0.2973	TAPIO	Kiilto yp/pinta	Max-min -0.3186
TAPIO	Neliömassa/pinta	MD-haj. -0.29	TAPIO IND:Y*Y/X	Transmissio/pohja	HP 0.31762
TAPIO IND:Y/X	Kiilto ap/pinta	KP 0.28967	KITKA	Lepo/pinta	Hajonta -0.3173
TAPIO	Neliömassa/pinta	KA 0.28732	TAPIO IND:Y*Y/X	Kiilto yp/pohja	KP -0.3158
TAPIO IND	Kiilto yp/pinta	KP/X 0.28284	TAPIO IND	Tiheys pinta	HP/Y 0.31563
TAPIO	Tiheys/pohja	Käyrämuot. 0.28246	TAPIO IND	Transmissio/pohja	KP/Y -0.3112
ACCURAY	PPtuhka	Alapuolinen -0.2812	TAPIO	Paksuus/pinta	KA 0.30984
TAPIO IND:Y*Y/X	Tiheys/pohja	KP 0.28104	TAPIO	Neliömassa/pohja	MD-haj. 0.30316
TAPIO	Kiilto ap/pohja	Max-min -0.2805	TAPIO IND	Tiheys/pohja	HP/X -0.3031
TAPIO	Paksuus/pinta	Kok.haj. -0.2798	TAPIO	Bulkki	erotus 0.30084
ACCURAY	K-Kosteus	Alapuolinen -0.2762	St.sähkö	SK:lla	KP/Pohja -0.2967
KITKA	Liike/pinta	Keski 0.27597	TAPIO IND	Transmissio/pohja	KP/X -0.2966
TAPIO	Neliömassa/pinta	Käyrämuot. 0.27378	TAPIO IND	Transmissio/pohja	HP/X -0.2926
TAPIO	Paksuus/pohja	Jäännöshaj. 0.26818	TAPIO	Paksuus/pohja	Max-min -0.2925
St.sähkö	SK:lla	KA -0.2653	TAPIO IND	Paksuus/pohja	HP/X -0.2905

KORRELAATIOANALYYSIN TULOKSET SCj- JA SCe-PAPERILAJILLA

KORRELAATIO	MOLEMMAT	SK-hylky	1
POHJA	SK	[m]	1
TAPIO IND	Kiilto yp/pohja	KP/Y	0.725236
TAPIO	Paksuus/pohja	CD-haj.	-0.54462
Pull-tab	HP	Voima/cm2	0.496902
Pull-tab	HP	Voima	0.495096
ACCURAY	PPtuhka	Alapuolinen	-0.45971
TAPIO	Paksuus/pohja	Max-min	-0.45339
TAPIO IND:Y/X	Kiilto yp/pohja	KP	0.446656
TAPIO IND	Kiilto yp/pohja	KP/X	-0.43884
TAPIO IND	Paksuus/pinta	HP/Y	-0.42147
LÄMPÄKAMERA	Raita	leveys	0.420261
TAPIO IND	Transmisio/pinta	KP/X	-0.41273
TAPIO	Tiheys/pohja	Max-min	-0.37117
TAPIO	Neliömassa/pohja	Käyrämuot.	-0.3701
TAPIO IND:Y*Y/X	Paksuus/pinta	HP	-0.34438
TAPIO IND	Tiheys pinta	HP/Y	0.34201
TAPIO IND	Kiilto yp/pinta	HP/X	0.337908
TAPIO	Neliömassa/pinta	Kok.haj.	-0.33132
TAPIO IND:Y/X	Kiilto ap/pohja	KP	0.331021
TAPIO	Neliömassa/pinta	Käyrämuot.	0.328879
TAPIO IND	Paksuus/pohja	HP/Y	-0.31981
KITKA	Liike/pohja	KP	0.319428
TAPIO IND:Y*Y/X	Tiheys pinta	HP	-0.31418
TAPIO IND	Paksuus/pohja	KP/Y	-0.31324
TAPIO IND	Tiheys/pohja	KP/Y	0.307562
TAPIO	Transmisio/pinta	Käyrämuot.	-0.30451
TAPIO IND	Neliömassa/pinta	KP/Y	-0.28415
TAPIO IND	Tiheys/pohja	HP/Y	0.284123
TAPIO IND:Y/X	Tiheys pinta	HP	0.28381
TAPIO IND:Y*Y/X	Kiilto yp/pohja	KP	0.281857
TAPIO IND	Kiilto ap/pinta	KP/Y	0.277956
KITKA	Liike/pinta	Hajonta	0.273328
TAPIO IND:Y/X	Paksuus/pinta	HP	-0.27288
ACCURAY	PPneliömassa	Yläpuolinen	0.27233
TAPIO	Paksuus/pinta	Max-min	-0.2706
TAPIO IND	Neliömassa/pinta	HP/X	0.268975
TAPIO IND	Transmisio/pohja	HP/X	-0.26596
KITKA	Lepo/pohja	1/4 KP	0.263375
TAPIO IND:Y/X	Kiilto ap/pinta	KP	0.260256
KITKA	Liike/pinta	Keski	0.256738
TAPIO	Paksuus/pohja	Kok.haj.	-0.25124
St.sähkö	SK:llä	KP/Pohja	-0.24932
TAPIO	Paksuus/pohja	Käyrämuot.	-0.24894
TAPIO IND:Y/X	Paksuus/pohja	HP	0.247882
TAPIO IND	Transmisio/pinta	HP/X	-0.2472
ACCURAY	PPneliömassa	Alapuolinen	0.243864
TAPIO IND:Y/X	Paksuus/pohja	KP	-0.24243
TAPIO IND	Kiilto ap/pohja	KP/Y	0.23893
TAPIO	Neliömassa/pinta	Jäännöshaj.	-0.23122
TAPIO IND:Y*Y/X	Neliömassa/pohja	KP	0.219846
TAPIO IND	Tiheys pinta	HP/X	0.219173
TAPIO IND:Y/X	Tiheys/pohja	KP	-0.21912
TAPIO	Kiilto ap/pinta	KA	-0.21496
TAPIO IND:Y*Y/X	Kiilto ap/pinta	KP	-0.21458
TAPIO IND	Tiheys/pohja	KP/X	-0.21456
KITKA	Lepo/pohja	Keski	0.214073
TAPIO	Paksuus/pinta	MD-haj.	0.210108
TAPIO	Tiheys/pohja	Käyrämuot.	0.209309
TAPIO IND:Y/X	Transmisio/pohja	HP	0.207668
TAPIO IND:Y/X	Neliömassa/pohja	KP	0.207202
TAPIO IND	Neliömassa/pohja	HP/X	-0.20378
KITKA	Liike/pohja	Keskiarvo	0.203204
TAPIO IND	Kiilto yp/pohja	HP/X	-0.20057
TAPIO	Kiilto ap/pohja	KA	-0.19979
TAPIO IND:Y/X	Transmisio/pinta	KP	0.199404
LÄMPÄKAMERA	Jarrutus	Pohja	-0.19653
KITKA	Liike/pohja	Keski	0.194682
St.sähkö	Pysäht.	KP/Pohja	-0.19428
TAPIO	Kiilto ap/pinta	Max-min	-0.19128

KORRELAATIO	Molemmat	Kok.hylky	1
POHJA	KOKONAIIS	[m]	1
POHJA	Leikkuri	[m]	0.918418
TAPIO IND	Neliömassa/pinta	HP/X	0.611758
TAPIO IND:Y*Y/X	Paksuus/pohja	KP	0.560616
TAPIO IND	Neliömassa/pinta	KP/X	0.507276
POHJA	SK	[m]	0.463213
TAPIO IND	Kiilto yp/pohja	KP/X	-0.45904
TAPIO IND	Paksuus/pinta	HP/Y	-0.45817
TAPIO	Kiilto ap/pinta	Käyrämuot.	0.449984
TAPIO IND	Paksuus/pinta	KP/Y	-0.39473
TAPIO IND:Y/X	Transmisio/pohja	HP	0.394174
TAPIO IND	Tiheys pinta	HP/X	0.388828
ACCURAY	PPneliömassa	Yläpuolinen	0.382627
TAPIO	Transmisio/pinta	Max-min	-0.37542
TAPIO IND	Kiilto yp/pohja	HP/X	-0.37107
TAPIO IND:Y*Y/X	Paksuus/pinta	HP	-0.37067
TAPIO IND	Neliömassa/pinta	KP/Y	-0.36737
TAPIO IND	Kiilto yp/pohja	KP/Y	0.36424
TAPIO IND	Paksuus/pohja	HP/Y	-0.36307
TAPIO IND	Transmisio/pohja	HP/X	-0.36089
TAPIO	Paksuus/pohja	CD-haj.	-0.3529
TAPIO	Kiilto ap/pinta	Max-min	-0.35005
TAPIO IND:Y*Y/X	Paksuus/pinta	KP	-0.34758
TAPIO IND:Y/X	Tiheys pinta	HP	0.345822
TAPIO	Neliömassa/pohja	MD-haj.	0.336853
TAPIO IND:Y*Y/X	Transmisio/pohja	HP	0.335729
LÄMPÄKAMERA	Loppu kr	Kok. T	-0.33421
LÄMPÄKAMERA	Raita	leveys	0.33014
TAPIO	Bulkki/pohja	Laskettu	-0.32323
LÄMPÄKAMERA	Jarrutus	Pohja	-0.31606
TAPIO	Tiheys/pohja	KA	0.312045
TAPIO IND:Y*Y/X	Kiilto ap/pinta	KP	-0.31094
TAPIO IND	Transmisio/pohja	KP/X	-0.3087
TAPIO IND	Neliömassa/pohja	HP/X	-0.30203
TAPIO IND:Y/X	Paksuus/pohja	KP	0.301193
TAPIO IND:Y/X	Paksuus/pinta	KP	-0.30097
TAPIO	Kiilto ap/pinta	KA	-0.29938
TAPIO	Kiilto yp/pinta	Käyrämuot.	-0.29572
TIHEYS	Piikkikyys	[vis.havainto]	0.286341
TAPIO	Paksuus/pohja	Max-min	-0.28505
TAPIO IND:Y/X	Paksuus/pinta	HP	-0.28084
TAPIO IND	Tiheys pinta	KP/X	0.274652
KITKA	Lepo/pohja	Hajonta	-0.26439
TAPIO	Paksuus/pinta	MD-haj.	0.262533
TAPIO IND:Y*Y/X	Kiilto ap/pinta	HP	-0.2585
TAPIO	Paksuus/pinta	Max-min	-0.25616
TAPIO IND	Kiilto yp/pohja	HP/Y	0.256087
TAPIO	Transmisio/pinta	Käyrämuot.	-0.25226
TAPIO IND:Y*Y/X	Tiheys pinta	HP	-0.24801
TAPIO IND:Y/X	Tiheys pinta	KP	0.247076
KITKA	Liike/pohja	1/4 HP	0.247039
TAPIO	Neliömassa/pinta	KA	0.24499
KITKA	Liike/pohja	Keski	0.244723
TAPIO IND:Y*Y/X	Tiheys/pohja	KP	0.244563
KITKA	Lepo/pinta	Hajonta	-0.24188
TAPIO	Neliömassa/pohja	Käyrämuot.	-0.23992
St.sähkö	SK:llä	KA	-0.23368
TAPIO IND	Kiilto yp/pinta	KP/X	-0.23242
TAPIO IND:Y/X	Kiilto ap/pinta	HP	0.232223
TAPIO IND	Transmisio/pinta	HP/Y	-0.22779
KITKA	Lepo/pohja	1/4 HP	0.227164
TAPIO IND:Y*Y/X	Transmisio/pinta	HP	-0.22168
TAPIO IND	Transmisio/pohja	KP/Y	-0.21932
TAPIO IND	Paksuus/pohja	HP/X	-0.21895
TAPIO IND:Y*Y/X	Tiheys/pohja	HP	-0.21354
TAPIO IND	Tiheys/pohja	KP/X	-0.21268
TAPIO IND:Y/X	Tiheys/pohja	KP	0.21196
LÄMPÄKAMERA	Raita	Vyödh. alkaa	0.211089
TAPIO IND	Kiilto ap/pinta	HP/Y	0.210913

KORRELAATIOANALYYSIN TULOKSET; YHTEENVETO

YHTEENVETO

Ominaisuus	Laji	Rad.suunta	Poikkisuunt.	Korrel.
KITKA Lepo	SCj	Pohja	1/4 HP	-0.56
	SCe	Pinta	1/4 KP	-0.89
	SCe	Pinta	KA	-0.6
	SCe	Pohja	1/4 KP	0.59
	SCe	Pohja	KA	0.58
PAKSUUS	Molemmat	Pohja	CD-haj.	-0.54
	SCj	Pohja	KA	0.6
	SCj	Pohja	CD-haj.	-0.54
	SCj	Pohja	Jäänn.haj	0.59
	SCj	Pohja	KA	0.59
	SCj	Pinta	Käyräm.	-0.57
	SCe	Pohja	CD-haj.	-0.76
	SCe	Pohja	Max-min	-0.63
	SCe	Pohja	KA	0.56
NELIÖMASSA	SCj	Pohja	KA	0.66
	SCj	Pohja	Max-min	0.55
	SCj	Pohja	KA	0.83
	SCe	Pohja	CD-haj	-0.76
	SCe	Pohja	Kok.haj	0.6
	SCe	Pohja	KS-haj.	0.56
	SCe	Pohja	Jään.haj	0.53
TAPIO IND/Paksuus	SCj	Pinta	HP/Y	-0.65
	SCj	Pohja	KP/Y	0.58
	SCj	Pinta	HP/Y	-0.51
	SCe	Pohja	KP/Y	-0.57
	SCe	Pohja	HP/Y	-0.58
	SCe	Pohja	KP/Y	-0.57
TAPIO IND/Tiheys	SCe	Pinta	HP/X	-0.52
	SCe	Pohja	KP/X	-0.57
	SCe	Pohja	HP/Y	0.55
	SCe	Pinta	HP/Y	0.51
	SCe	Pohja	KP/Y	0.5
TAPIO IND/Neliömassa	Molemmat	Pinta	HP/X	0.61
	Molemmat	Pinta	KP/X	0.51
	SCj	Pinta	HP/X	0.56
	SCj	Pinta	HP/X	0.84
	SCe	Pohja	HP/Y	-0.55
	SCe	Pinta	KP/Y	0.53
TAPIO IND Y/X Paksuus	SCj	Pinta	HP	-0.62
	SCj	Pohja	KP	0.58
	SCe	Pohja	KP	-0.85
	SCe	Pohja	HP	0.63
	SCe	Pohja	KP	-0.59

KONERULLAN POHJAN JA PINNAN VÄLINEN ERO SCe-PAPERILAJILLA

SCe-paperilajin seurantakoeajo

MITTAMENETELMÄ	MITTATAPA	MITTAKOHTA	Pohja	Pinta	Muutos	Muutos %
KITKA	Liikekitka	Hajonta	0.028	0.034	0.006	21.3
TAPIO	Paksuus	MD-haj.	0.195	0.228	0.033	16.9
TAPIO	Neliömassa	MD-haj.	0.166	0.184	0.018	10.8
TAPIO	Neliömassa	CD-haj.	0.266	0.282	0.016	6.0
KITKA	Lepokitka	Hajonta	0.024	0.025	0.001	4.0
TAPIO	Paksuus	KA	100.000	103.555	3.555	3.6 *
TAPIO	Bulkki	Laskettu	100.000	103.495	3.495	3.5 *
TAPIO	Neliömassa	Max-min	2.560	2.630	0.070	2.7
TAPIO	Neliömassa	Kok.haj.	0.719	0.728	0.009	1.3
KITKA	Liikekitka	HP	0.412	0.414	0.002	0.5
KITKA	Liikekitka	1/4 HP	0.424	0.425	0.001	0.2
TAPIO	Neliömassa	KA	100.000	100.057	0.057	0.1 *
KITKA	Liikekitka	1/4 KP	0.439	0.438	-0.001	-0.3
KITKA	Lepokitka	HP	0.547	0.544	-0.003	-0.5
KITKA	Liikekitka	KP	0.426	0.424	-0.002	-0.6
KITKA	Lepokitka	1/4 KP	0.570	0.566	-0.004	-0.7
KITKA	Lepokitka	KP	0.554	0.550	-0.004	-0.7
TAPIO	Transmissio	Max-min	1.120	1.110	-0.010	-0.9
TAPIO	Transmissio	KA	15.100	14.940	-0.160	-1.1
KITKA	Lepokitka	Keskiarvo	0.558	0.551	-0.007	-1.3
KITKA	Lepokitka	1/4 HP	0.556	0.547	-0.010	-1.8
KITKA	Liikekitka	Keskiarvo	0.431	0.420	-0.011	-2.5
TAPIO	Paksuus	Jäännöshaj.	1.140	1.110	-0.030	-2.6
KITKA	Lepokitka	Keski	0.564	0.548	-0.016	-2.9
TAPIO	Kiilto yläp.	KA	5.520	5.360	-0.160	-2.9
TAPIO	Paksuus	Kok.haj.	1.204	1.165	-0.039	-3.2
TAPIO	Tiheys	KA	100.000	96.546	-3.454	-3.5 *
TAPIO	Kiilto yläp.	Max-min	0.760	0.730	-0.030	-3.9
TAPIO	Paksuus	CD-haj.	0.358	0.343	-0.015	-4.2
TAPIO	Kiilto alap.	KA	5.950	5.590	-0.360	-6.1
TAPIO	Paksuus	Max-min	3.440	3.160	-0.280	-8.1
TAPIO	Tiheys	Max-min	32.820	29.870	-2.950	-9.0
TAPIO	Kiilto alap.	Max-min	1.050	0.940	-0.110	-10.5
KITKA	Liikekitka	Keski	0.451	0.398	-0.053	-11.7
TAPIO	Neliömassa	Jäännöshaj.	-0.400	0.646	1.046	-261.5

* Indeksoituja lukuja

KONERULLAN POHJAN JA PINNAN VÄLINEN ERO SCj-PAPERILAJILLA

SCj-paperilajin seurantakoeajo

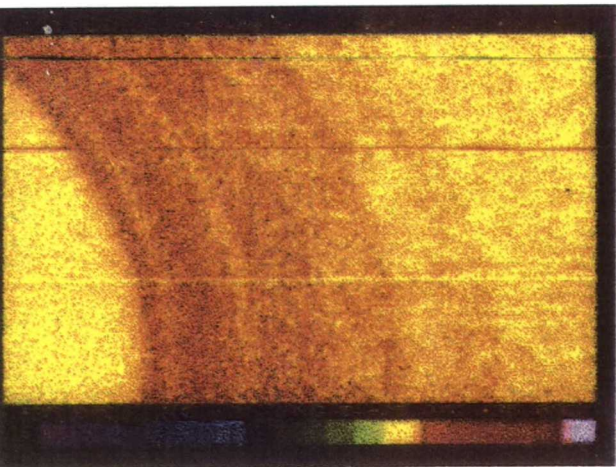
MITTAMENETELMÄ	MITTATAPA	MITTAKOHTA	Pohja	Pinta	Muutos	Muutos %
TAPIO	Kiilto alap.	Max-min	1.227	1.387	0.160	13.0
KITKA	Lepokitka	KP	0.454	0.510	0.056	12.3
KITKA	Lepokitka	1/4 KP	0.487	0.522	0.034	7.0
KITKA	Lepokitka	Keskiarvo	0.479	0.507	0.028	5.8
KITKA	Lepokitka	Keski	0.476	0.503	0.026	5.5
TAPIO	Bulkki	Laskettu	100.000	104.600	4.600	4.6 *
KITKA	Liikekitka	KP	0.351	0.364	0.013	3.8
KITKA	Lepokitka	1/4 HP	0.495	0.510	0.015	3.0
KITKA	Liikekitka	Keski	0.336	0.344	0.008	2.3
TAPIO	Paksuus	KA	100.000	102.223	2.223	2.2 *
KITKA	Lepokitka	HP	0.483	0.491	0.008	1.6
TAPIO	Transmissio	KA	16.067	16.147	0.080	0.5
TAPIO	Neliömassa	Kok.haj.	0.784	0.781	-0.003	-0.3
KITKA	Liikekitka	Keskiarvo	0.360	0.358	-0.002	-0.6
TAPIO	Kiilto alap.	KA	6.213	6.173	-0.040	-0.6
KITKA	Liikekitka	1/4 KP	0.369	0.366	-0.003	-0.7
TAPIO	Neliömassa	MD-haj.	0.180	0.179	-0.001	-0.7
TAPIO	Paksuus	Max-min	3.880	3.827	-0.053	-1.4
TAPIO	Neliömassa	KA	100.000	0.977	-99.023	-99.0 *
TAPIO	Paksuus	Kok.haj.	1.346	1.301	-0.045	-3.4
KITKA	Liikekitka	HP	0.373	0.360	-0.013	-3.5
TAPIO	Kiilto yläp.	KA	5.680	5.480	-0.200	-3.5
KITKA	Liikekitka	1/4 HP	0.371	0.356	-0.015	-4.1
TAPIO	Transmissio	Max-min	1.287	1.233	-0.053	-4.1
TAPIO	Tiheys	KA	100.000	95.577	-4.423	-4.4 *
TAPIO	Neliömassa	Max-min	2.633	2.487	-0.147	-5.6
TAPIO	Neliömassa	CD-haj.	0.306	0.285	-0.021	-6.8
TAPIO	Paksuus	Jäännöshaj.	1.249	1.148	-0.101	-8.1
TAPIO	Paksuus	CD-haj.	0.412	0.373	-0.039	-9.4
TAPIO	Paksuus	MD-haj.	0.268	0.243	-0.025	-9.5
TAPIO	Kiilto yläp.	Max-min	0.953	0.840	-0.113	-11.9
KITKA	Liikekitka	Hajonta	0.029	0.024	-0.004	-15.2
TAPIO	Tiheys	Max-min	34.173	27.267	-6.907	-20.2
KITKA	Lepokitka	Hajonta	0.029	0.022	-0.007	-23.9
TAPIO	Neliömassa	Jäännöshaj.	-0.100	0.705	0.805	-804.7

* Indeksoituja lukuja

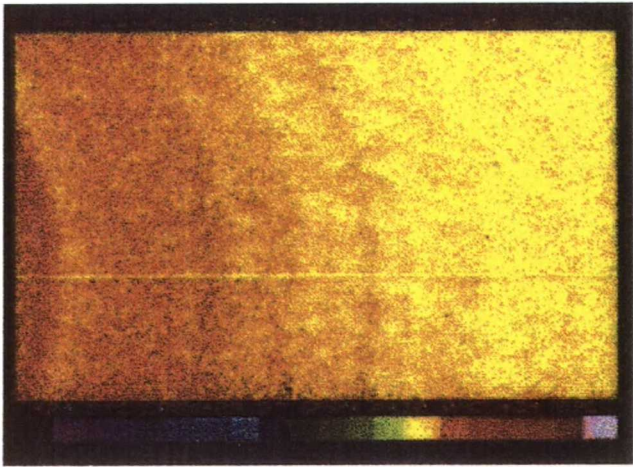
SEURANTA S_{Ce}-LAJI

Ei pohjahylkyä

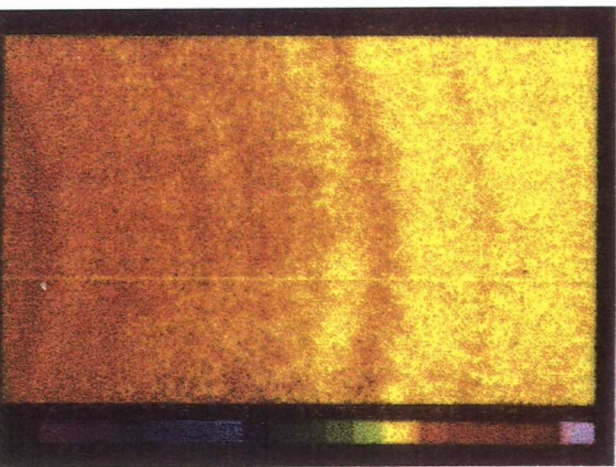
Pohjahylkyä



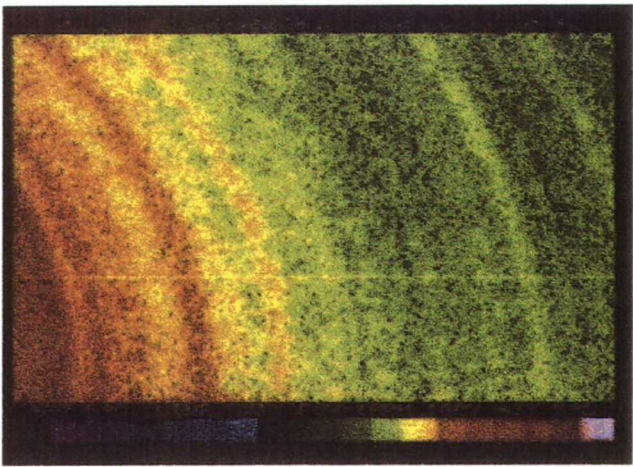
360 m



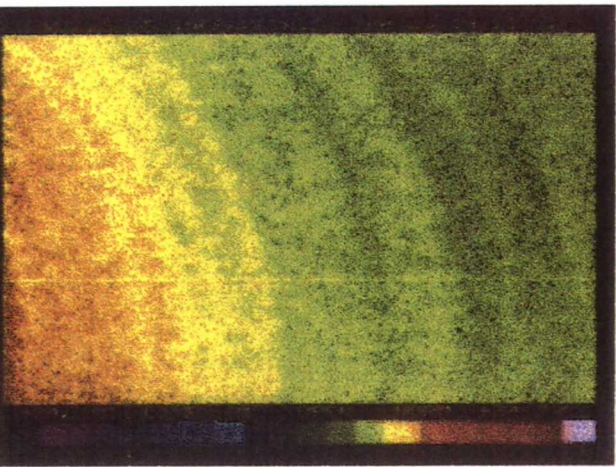
4357 m



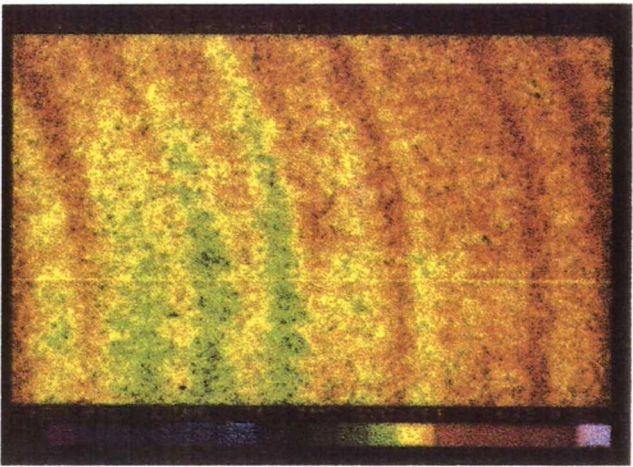
330 m



9849 m



340 m

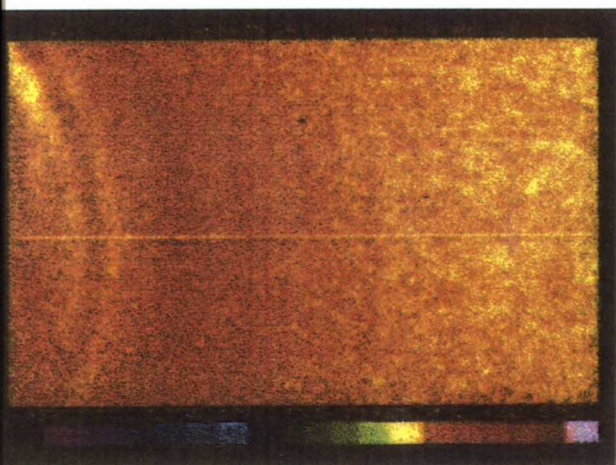


7500 m

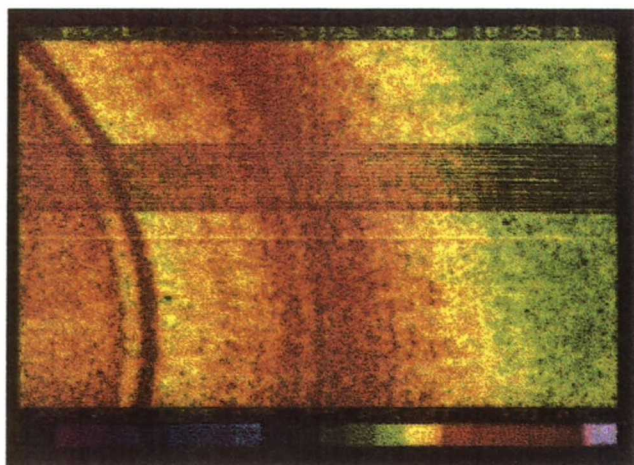
SEURANTA SCj-LAJI

Ei pohjahylkyä

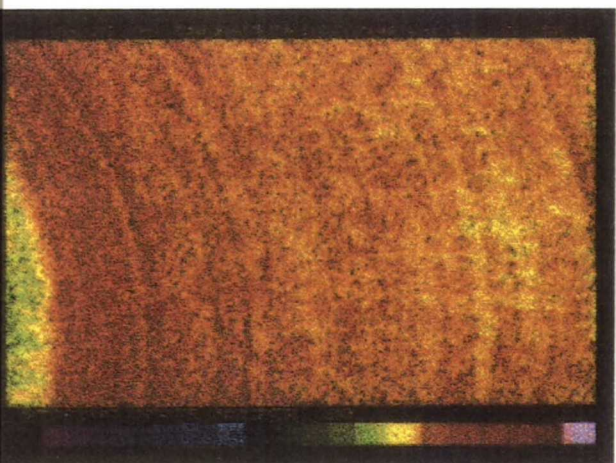
Pohjahylkyä



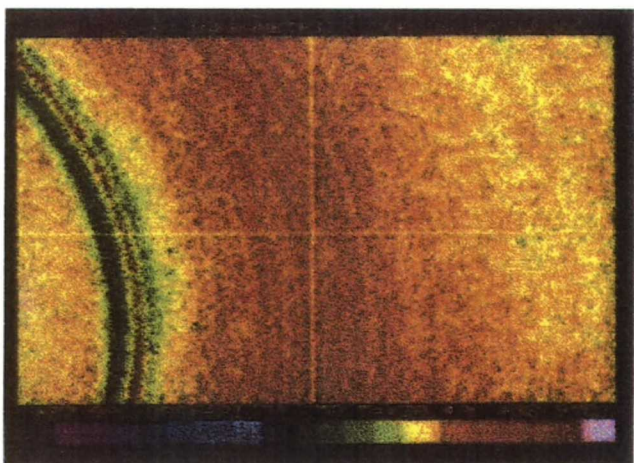
227 m



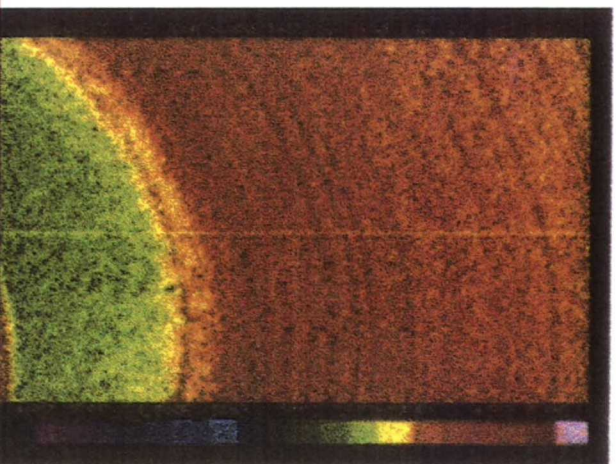
3157 m



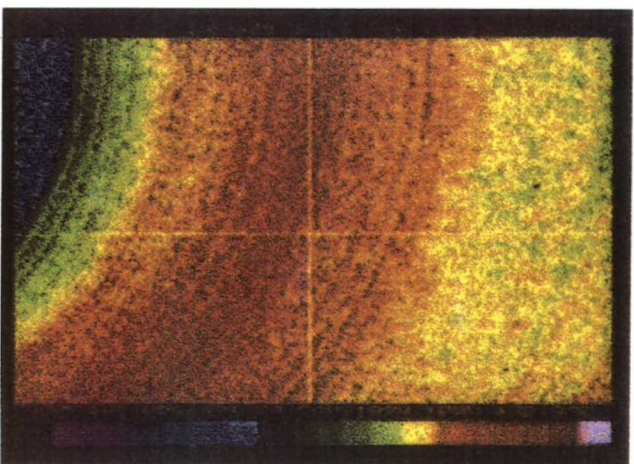
370 m



3020 m



421 m



3070 m

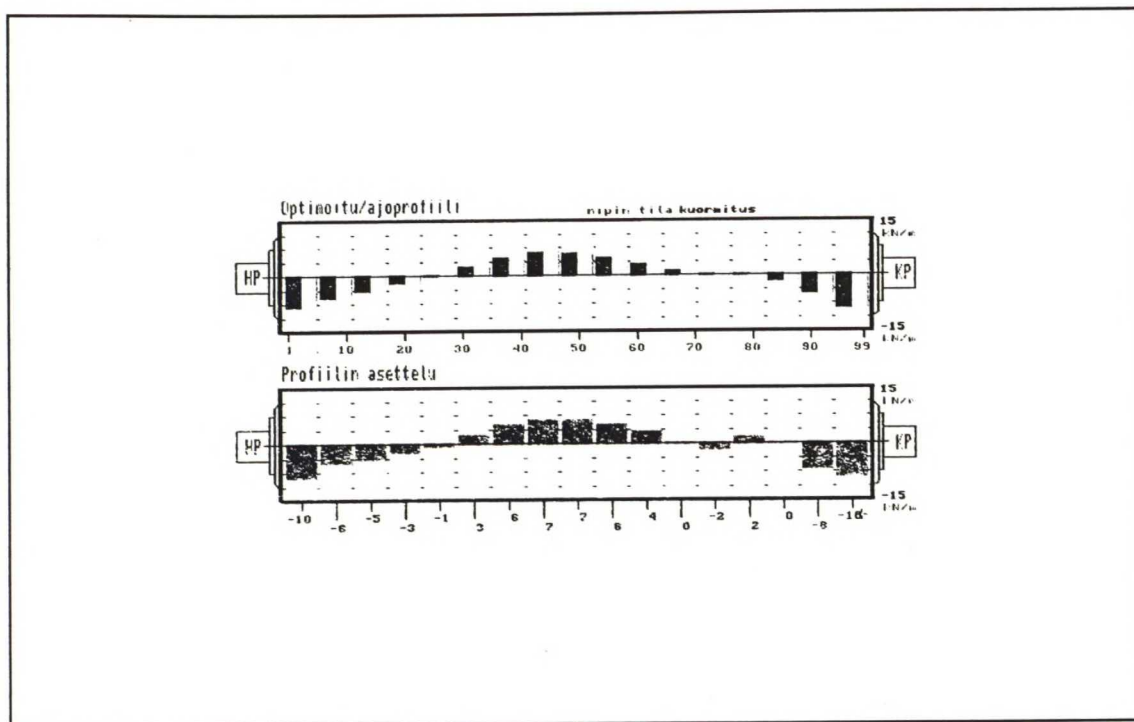
HYPOTEESIKOEAJON TULOKSET

LIITE 6 1(7)

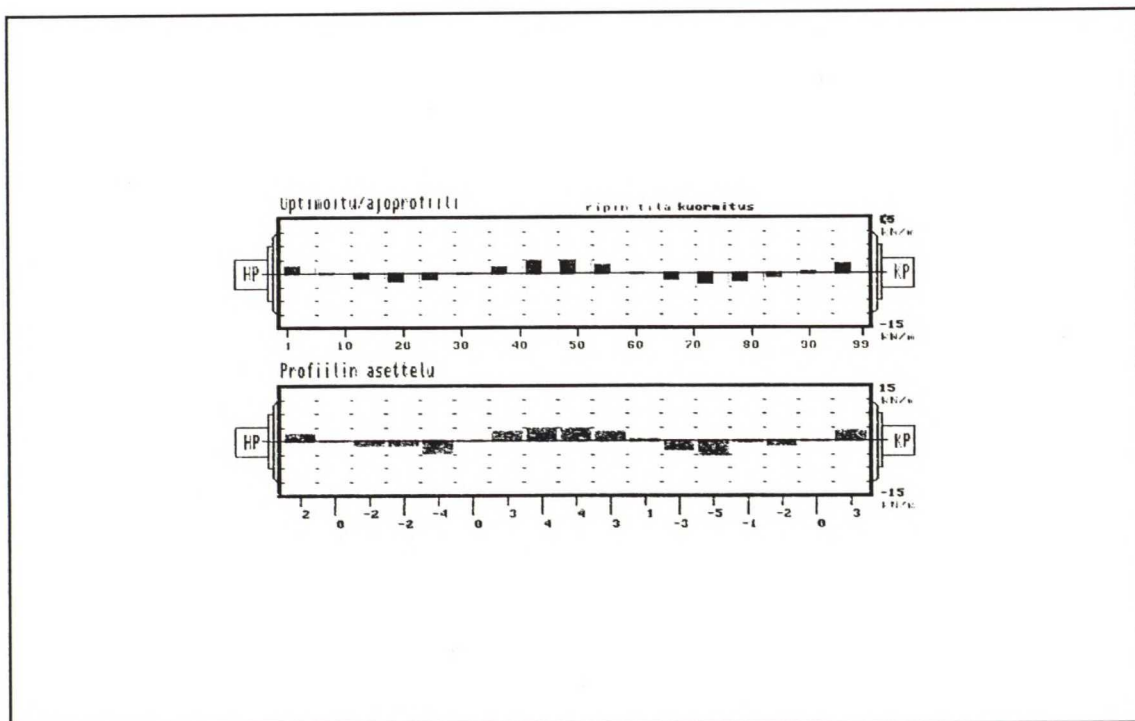
HYPOTEESIKOEAJON MUUTTUJAT

3. & 4.puristin	Asetusarvot	Reunakevennys	P-LAB/Pohja	Karheus ap	KA	Tapio/Pinta	Tiheys	KA
ACCURAY	K-arvot	Kosteus	P-LAB/Pohja	Karheus ap	hajonta	Tapio/Pinta	Tiheys	Max-min
ACCURAY	K-arvot	Kost.haj.	P-LAB/Pohja	Neliömassa	KA	Tapio/Pinta	Neliömassa	KA
ACCURAY	K-arvot	g/m2	P-LAB/Pinta	Neliömassa	hajonta	Tapio/Pinta	Neliömassa	Max-min
ACCURAY	K-arvot	g/m2 haj.	P-LAB/Pinta	Paksuus	KA	Tapio/Pinta	Neliömassa	Kok.haj.
ACCURAY	R-arvot	Kosteus	P-LAB/Pinta	Paksuus	hajonta	Tapio/Pinta	Neliömassa	PS-haj
ACCURAY	R-arvot	Kost.haj.	P-LAB/Pinta	Huok.bulkki	KA	Tapio/Pinta	Neliömassa	KS-haj
ACCURAY	R-arvot	g/m2	P-LAB/Pinta	Vetolujuus ks	KA	Tapio/Pinta	Neliömassa	Jäänn.haj
ACCURAY	R-arvot	g/m2 haj.	P-LAB/Pinta	Vetolujuus ks	hajonta	Tapio/ero	Paksuus	KA
ACCURAY	R-arvot	Tuhka	P-LAB/Pinta	Vetolujuus ps	KA	Tapio/ero	Paksuus	Max-min
ACCURAY	PK:n	Nopeus	P-LAB/Pinta	Vetolujuus ps	hajonta	Tapio/ero	Paksuus	Kok.haj.
LEPOKITKA	Pinta	HP	P-LAB/Pinta	Murto ks	KA	Tapio/ero	Paksuus	PS-haj
LEPOKITKA	Pinta	Keski	P-LAB/Pinta	Murto ks	hajonta	Tapio/ero	Paksuus	PS-haj
LEPOKITKA	Pinta	KP	P-LAB/Pinta	Murto ps	KA	Tapio/ero	Paksuus	KS-haj
LEPOKITKA	Pinta	KA	P-LAB/Pinta	Murto ps	hajonta	Tapio/ero	Tiheys	Jäänn.haj
LEPOKITKA	Pohja	HP	P-LAB/Pinta	Venymä ks	KA	Tapio/ero	Tiheys	KA
LEPOKITKA	Pohja	Keski	P-LAB/Pinta	Venymä ks	hajonta	Tapio/ero	Neliömassa	Max-min
LEPOKITKA	Pohja	KP	P-LAB/Pinta	Venymä ps	KA	Tapio/ero	Neliömassa	KA
LEPOKITKA	Pohja	KA	P-LAB/Pinta	Venymä ps	hajonta	Tapio/ero	Neliömassa	Max-min
LEPOKITKA	ER lepok.	HP	P-LAB/Pinta	Repäisy ks	KA	Tapio/ero	Neliömassa	Kok.haj.
LEPOKITKA	ER lepok.	Keski	P-LAB/Pinta	Repäisy ps	KA	Tapio/ero	Neliömassa	PS-haj
LEPOKITKA	ER lepok.	KP	P-LAB/Pinta	Karheus yp	KA	Tapio/ero	Neliömassa	KS-haj
LEPOKITKA	ER lepok.	KA	P-LAB/Pinta	Karheus yp	hajonta	Tapio/ero	Neliömassa	Jäänn.haj
LIIEKITKA	Pinta	HP	P-LAB/Pinta	Karheus ap	KA	Tapin ind/pohja	Paksuus	HP/X
LIIEKITKA	Pinta	Keski	P-LAB/Pinta	Karheus ap	hajonta	Tapin ind/pohja	Paksuus	HP/Y
LIIEKITKA	Pinta	KP	P-LAB -ero	Neliömassa	KA	Tapin ind/pohja	Paksuus	KP/X
LIIEKITKA	Pinta	KA	P-LAB -ero	Neliömassa	hajonta	Tapin ind/pohja	Neliömassa	KP/Y
LIIEKITKA	Pohja	HP	P-LAB -ero	Paksuus	KA	Tapin ind/pohja	Neliömassa	HP/X
LIIEKITKA	Pohja	Keski	P-LAB -ero	Paksuus	hajonta	Tapin ind/pohja	Neliömassa	HP/Y
LIIEKITKA	Pohja	KP	P-LAB -ero	Huok.bulkki	KA	Tapin ind/pohja	Neliömassa	KP/X
LIIEKITKA	Pohja	KA	P-LAB -ero	Vetolujuus ks	KA	Tapin ind/pohja	Neliömassa	KP/Y
LIIEKITKA	ER liiekek.	HP	P-LAB -ero	Vetolujuus ks	hajonta	Tapin ind/pohja	Tiheys	HP/X
LIIEKITKA	ER liiekek.	Keski	P-LAB -ero	Vetolujuus ps	KA	Tapin ind/pohja	Tiheys	HP/Y
LIIEKITKA	ER liiekek.	KP	P-LAB -ero	Vetolujuus ps	hajonta	Tapin ind/pohja	Tiheys	KP/X
LIIEKITKA	ER liiekek.	KA	P-LAB -ero	Murto ks	KA	Tapio ind/pinta	Tiheys	KP/Y
LEPO-LIIE	Ero pohja	HP	P-LAB -ero	Murto ks	hajonta	Tapio ind/pinta	Paksuus	HP/X
LEPO-LIIE	Ero pohja	Keski	P-LAB -ero	Murto ps	KA	Tapio ind/pinta	Paksuus	HP/Y
LEPO-LIIE	Ero pohja	KP	P-LAB -ero	Murto ps	hajonta	Tapio ind/pinta	Paksuus	KP/X
LEPO-LIIE	Ero pohja	KA	P-LAB -ero	Venymä ks	KA	Tapio ind/pinta	Paksuus	KP/Y
LEPO-LIIE	Ero pinta	HP	P-LAB -ero	Venymä ks	hajonta	Tapio ind/pinta	Neliömassa	HP/X
LEPO-LIIE	Ero pinta	Keski	P-LAB -ero	Venymä ps	KA	Tapio ind/pinta	Neliömassa	HP/Y
LEPO-LIIE	Ero pinta	KP	P-LAB -ero	Venymä ps	hajonta	Tapio ind/pinta	Neliömassa	KP/X
LEPO-LIIE	Ero pinta	KA	P-LAB -ero	Repäisy ks	KA	Tapio ind/pinta	Neliömassa	KP/Y
LEPO-LIIE	ER pohj-pin	HP	P-LAB -ero	Repäisy ps	KA	Tapio ind/pinta	Tiheys	HP/X
LEPO-LIIE	ER pohj-pin	Keski	P-LAB -ero	Karheus yp	KA	Tapio ind/pinta	Tiheys	HP/Y
LEPO-LIIE	ER pohj-pin	KP	P-LAB -ero	Karheus yp	hajonta	Tapio ind/pinta	Tiheys	KP/X
LEPO-LIIE	ER pohj-pin	KA	P-LAB -ero	Karheus ap	KA	Tapio ind/pinta	Tiheys	KP/Y
P-LAB/Pohja	Neliömassa	KA	P-LAB -ero	Karheus ap	hajonta	Tapio ind ero	Paksuus	HP/X
P-LAB/Pohja	Neliömassa	hajonta	TAPIO/Pohja	Paksuus	KA	Tapio ind ero	Paksuus	HP/Y
P-LAB/Pohja	Paksuus	KA	TAPIO/Pohja	Paksuus	Max-min	Tapio ind ero	Paksuus	KP/X
P-LAB/Pohja	Paksuus	hajonta	TAPIO/Pohja	Paksuus	Kok.haj.	Tapio ind ero	Paksuus	KP/Y
P-LAB/Pohja	Bulkki	KA	TAPIO/Pohja	Paksuus	PS-haj	Tapio ind ero	Neliömassa	HP/X
P-LAB/Pohja	Vetolujuus ks	KA	TAPIO/Pohja	Paksuus	KS-haj	Tapio ind ero	Neliömassa	HP/Y
P-LAB/Pohja	Vetolujuus ks	hajonta	TAPIO/Pohja	Paksuus	Jäänn.haj	Tapio ind ero	Neliömassa	KP/X
P-LAB/Pohja	Vetolujuus ps	KA	TAPIO/Pohja	Tiheys	KA	Tapio ind ero	Neliömassa	KP/Y
P-LAB/Pohja	Vetolujuus ps	hajonta	TAPIO/Pohja	Tiheys	Max-min	Tapio ind ero	Tiheys	HP/X
P-LAB/Pohja	Murto ks	KA	TAPIO/Pohja	Neliömassa	KA	Tapio ind ero	Tiheys	HP/Y
P-LAB/Pohja	Murto ks	hajonta	TAPIO/Pohja	Neliömassa	Max-min	Tapio ind ero	Tiheys	KP/X
P-LAB/Pohja	Murto ps	KA	TAPIO/Pohja	Neliömassa	Kok.haj.	Tapio ind ero	Tiheys	KP/Y
P-LAB/Pohja	Murto ps	hajonta	TAPIO/Pohja	Neliömassa	PS-haj	LÄMPÖKAMERA	Jarrutus	Tela
P-LAB/Pohja	Venymä ks	KA	TAPIO/Pohja	Neliömassa	KS-haj	LÄMPÖKAMERA	Jarrutus	Pohja
P-LAB/Pohja	Venymä ks	hajonta	TAPIO/Pohja	Neliömassa	Jäänn.haj	LÄMPÖKAMERA	Jarrutus	5 cm
P-LAB/Pohja	Venymä ps	KA	Tapio/Pinta	Paksuus	KA	LÄMPÖKAMERA	Jarrutus	10 cm
P-LAB/Pohja	Venymä ps	hajonta	Tapio/Pinta	Paksuus	Max-min	LÄMPÖKAMERA	Jarrutus	15 cm
P-LAB/Pohja	Repäisy ks	KA	Tapio/Pinta	Paksuus	Kok.haj.	LÄMPÖKAMERA	Raita	Vyö. alk.
P-LAB/Pohja	Repäisy ps	KA	Tapio/Pinta	Paksuus	PS-haj	LÄMPÖKAMERA	Raita	leveys
P-LAB/Pohja	Karheus yp	KA	Tapio/Pinta	Paksuus	KS-haj	LÄMPÖKAMERA	Jarrutus	muu osa
P-LAB/Pohja	Karheus yp	hajonta	Tapio/Pinta	Paksuus	Jäänn.haj	Konerulla	kokonais-	pituus
						HYLKY	SK-hylky	
						HYLKY	PL-hylky	
						HYLKY	Kok.hylky	

HYPOTEESIKOEAJOSSA MÄRKÄPURISTIN ASETUKSET



Kuva 1. Hypoteesikoeajon normaalitilanteen märkäpuristus.



Kuva 2. Hypoteesikoeajon reunapuristustilanne. Märkäpuristinta kuormitettu reunoilta.

VARIANSSIANALYYSIN TULOKSET; REUNAPURISTUS

DIRAP10						
KEVENNYS VS PURISTUS			KA Kevennys	KA puristus	Riskitaso P (%)	Muutos (%)
			Normaaliolot	Reunapuristus	Riski, ettei muutos tapahdu	Kevennys arv. Kevennys verrattuna
Järjestelty riskitason mukaan				Tasainen pur.		
RISKITASO ALLE 5 %						
Tapio ind/pinta	Tiheys	HP/Y	-1,013	-0,707	0	30
P-LAB/Pohja	Karheus yp	hajonta	0,077	0,097	1	26
TAPIO/Pohja	Tiheys	KA			2	2
LEPO-LIIKE	ER pohj-pin	Keski	0,017	-0,033	2	-300
P-LAB -ero	Murto ks	hajonta	-0,533	0,833	2	-256
Tapin ind/pohja	Neliömassa	KP/Y	-0,413	-0,053	2	87
LEPOKITKA	ER lepok.	Keski	-0,003	0,050	2	-1600
TAPIO/Pohja	Paksuus	KA			2	-1
Tapio/ero	Tiheys	KA	-17,900	-23,933	2	-34
Tapio/Pinta	Paksuus	CD-haj.	0,487	0,440	2	-10
Tapio ind ero	Tiheys	HP/Y	-0,173	0,080	3	146
Tapio/Pinta	Tiheys	Max-min	24,033	17,933	3	-25
P-LAB/Pinta	Vetolujuus ps	KA			4	4
Tapio/ero	Paksuus	KA	3,210	4,003	4	25
P-LAB/Pohja	Murto ks	hajonta	2,467	1,633	5	-34
P-LAB -ero	Huok.bulkki	KA			5	100
Tapin ind/pohja	Neliömassa	KP/X	0,718	0,137	5	-81
Tapio/Pinta	Paksuus	KA			5	0
P-LAB -ero	Vetolujuus ks	hajonta	0,000	0,057	5	56566
RISKITASO ALLE 10 %						
Tapio ind/pinta	Paksuus	HP/X	1,641	0,684	6	-58
P-LAB/Pinta	Murto ks	hajonta	1,933	2,467	6	28
P-LAB/Pinta	Huok.bulkki	KA			6	1
LEPOKITKA	Pohja	Keski	0,537	0,520	7	-3
LAMPÖKAMERA	Raita	leveys	5,000	13,333	7	167
P-LAB -ero	Vetolujuus ps	KA	-0,007	0,010	7	250
LEPO-LIIKE	ER pohj-pin	KP	-0,030	-0,013	7	56
LEPO-LIIKE	Ero pohja	Keski	0,160	0,140	7	-13
ACCURAY	K-arvot	Kost.haj.	0,273	0,323	7	18
P-LAB/Pinta	Paksuus	hajonta	1,333	1,067	7	-20
TAPIO/Pohja	Tiheys	Max-min	25,967	22,300	8	-14
P-LAB -ero	Murto ps	KA	-1,267	-0,367	8	71
P-LAB/Pohja	Venymä ks	hajonta	0,087	0,067	10	-23
P-LAB/Pinta	Neliömassa	hajonta	0,333	0,433	10	30
RISKITASO YLI 10 PROSENTTIA						
ACCURAY	PK:n	Nopeus	1514,000	1513,933	12	0
P-LAB -ero	Karheus ap	hajonta	0,000	-0,007	12	-6767
LIIEKITKA	Pinta	Keski	0,390	0,397	12	2
ACCURAY	K-arvot	g/m2	49,667	49,600	12	0
LEPOKITKA	Pinta	Keski	0,533	0,570	12	7
P-LAB -ero	Karheus yp	hajonta	0,010	-0,013	12	-233
TAPIO/Pohja	Neliömassa	CD-haj.	0,227	0,253	12	12
Tapio ind ero	Paksuus	HP/X	-0,701	-2,701	13	-285
P-LAB -ero	Repäisy ps	KA	-0,137	-0,030	14	78
P-LAB -ero	Karheus yp	KA	0,090	0,130	14	44
LIIEKITKA	ER liikek.	KP	0,013	0,027	15	100
P-LAB -ero	Neliömassa	hajonta	-0,067	0,067	15	200
P-LAB/Pinta	Venymä ks	KA			15	-3
LIIEKITKA	Pinta	HP	0,400	0,390	16	-3
P-LAB/Pohja	Vetolujuus ks	hajonta	0,127	0,097	17	-24
Tapio ind ero	Neliömassa	KP/X	-0,513	0,103	18	120
LEPOKITKA	Pohja	KA	0,530	0,516	18	-3
Tapio/ero	Paksuus	CD-haj.	0,067	-0,060	18	-190
P-LAB/Pohja	Karheus yp	KA	4,503	4,463	18	-1
LEPOKITKA	Pohja	HP	0,527	0,507	18	-4
LEPO-LIIKE	Ero pinta	Keski	0,143	0,173	19	21
P-LAB/Pohja	Repäisy ps	KA			19	-1
Tapio/Pinta	Neliömassa	CD-haj.	0,230	0,250	20	9
Tapio ind ero	Paksuus	HP/Y	0,120	-0,173	20	-244
P-LAB/Pinta	Murto ks	KA			20	-3
P-LAB -ero	Venymä ks	hajonta	-0,003	0,027	20	-900
Tapio/Pinta	Tiheys	KA			20	1
P-LAB/Pohja	Neliömassa	KA			21	-1
Tapio ind ero	Tiheys	HP/X	-5,983	-17,265	21	189
Tapio/Pinta	Paksuus	Max-min	4,367	3,933	22	-10

KORRELAATIOANALYYSIN TULOKSET; REUNAPURISTUS

REUNAPURISTUKSEN VAIKUTUS PAPERIIN			Puristus
3. & 4.puristin	Asetusarvot	Reunakevennys	1.00
Tapio ind/pinta	Tiheys	HP/Y	-0.95
P-LAB/Pohja	Karheus yp	hajonta	-0.90
TAPIO/Pohja	Tiheys	KA	-0.90
LEPO-LIIKE	ER pohj-pin	Keski	0.89
P-LAB -ero	Murto ks	hajonta	-0.89
Tapin ind/pohja	Neliömassa	KP/Y	-0.88
LEPOKITKA	ER lepok.	Keski	-0.88
TAPIO/Pohja	Paksuus	KA	0.87
Tapio/ero	Tiheys	KA	0.87
Tapio/Pinta	Paksuus	PS-haj.	0.87
Tapio-ind ero	Tiheys	HP/Y	-0.86
Tapio/Pinta	Tiheys	Max-min	0.85
P-LAB/Pinta	Vetolujuus ps	KA	-0.83
Tapio/ero	Paksuus	KA	-0.83
P-LAB/Pohja	Murto ks	hajonta	0.82
P-LAB -ero	Huok.bulkki	KA	-0.82
Tapin ind/pohja	Neliömassa	KP/X	0.81
Tapio/Pinta	Paksuus	KA	0.81
P-LAB -ero	Vetolujuus ks	hajonta	-0.80
Tapio ind/pinta	Paksuus	HP/X	0.80
P-LAB/Pinta	Murto ks	hajonta	-0.79
P-LAB/Pinta	Huok.bulkki	KA	-0.78
LEPOKITKA	Pohja	Keski	0.78
P-LAB -ero	Vetolujuus ps	KA	-0.78
LÄMPÖKAMERA	Raita	leveys	-0.78
LEPO-LIIKE	ER pohj-pin	KP	-0.78
LEPO-LIIKE	Ero pohja	Keski	0.77
ACCURAY	K-arvot	Kost.haj.	-0.77
P-LAB/Pinta	Paksuus	hajonta	0.77
TAPIO/Pohja	Tiheys	Max-min	0.76
P-LAB -ero	Murto ps	KA	-0.76
P-LAB/Pohja	Venymä ks	hajonta	0.73
P-LAB/Pinta	Neliömassa	hajonta	-0.73
ACCURAY	K-arvot	g/m2	0.71
ACCURAY	PK:n	Nopeus	0.71
P-LAB -ero	Karheus ap	hajonta	0.71
LIIKEKITKA	Pinta	Keski	-0.71
LEPOKITKA	Pinta	Keski	-0.70
P-LAB -ero	Karheus yp	hajonta	0.70
TAPIO/Pohja	Neliömassa	PS-haj.	-0.70
Tapio ind ero	Paksuus	HP/X	0.69
P-LAB -ero	Repäisy ps	KA	-0.68
P-LAB -ero	Karheus yp	KA	-0.68
LIIKEKITKA	ER liikek.	KP	-0.67
P-LAB -ero	Neliömassa	hajonta	-0.67
P-LAB/Pinta	Venymä ks	KA	0.66
LIIKEKITKA	Pinta	HP	0.65
P-LAB/Pohja	Vetolujuus ks	hajonta	0.64
Tapio ind ero	Neliömassa	KP/X	-0.63
LEPOKITKA	Pohja	KA	0.63
Tapio/ero	Paksuus	PS-haj.	0.63
LEPOKITKA	Pohja	HP	0.63
P-LAB/Pohja	Karheus yp	KA	0.63
LEPO-LIIKE	Ero pinta	Keski	-0.62
P-LAB/Pohja	Repäisy ps	KA	0.62
Tapio/Pinta	Neliömassa	PS-haj.	-0.61
Tapio ind ero	Paksuus	HP/Y	0.61
P-LAB/Pinta	Murto ks	KA	0.61
P-LAB -ero	Venymä ks	hajonta	-0.61
Tapio/Pinta	Tiheys	KA	-0.60
P-LAB/Pohja	Neliömassa	KA	0.60
Tapio ind ero	Tiheys	HP/X	0.60

KORRELAATIOANALYYSIN TULOKSET; SK-POHJAHYLKY

KORRELAATIOT SK-HYLYN SUHTEEN			SK-hylky
HYLKY	SK-hylky		1.00
P-LAB/Pinta	Vetolujuus ks	hajonta	-0.96
LEPO-LIIKE	Ero pinta	Keski	-0.93
LEPOKITKA	Pinta	Keski	-0.92
Tapio/ero	Paksuus	PS-haj.	0.92
TAPIO/Pohja	Paksuus	PS-haj.	-0.92
Tapin ind/pohja	Neliömassa	HP/Y	-0.92
LEPOKITKA	ER lepok.	KA	-0.91
Tapio ind ero	Neliömassa	HP/X	-0.91
P-LAB -ero	Neliömassa	hajonta	-0.91
Tapio ind ero	Neliömassa	HP/Y	0.89
P-LAB -ero	Paksuus	hajonta	0.89
Tapin ind/pohja	Neliömassa	HP/X	0.86
LEPOKITKA	ER lepok.	Keski	-0.84
Tapio ind ero	Neliömassa	KP/Y	0.83
P-LAB/Pohja	Vetolujuus ks	KA	-0.83
LEPOKITKA	Pinta	KA	-0.83
LEPO-LIIKE	ER pohj-pin	Keski	0.82
LEPO-LIIKE	ER pohj-pin	KA	0.81
P-LAB -ero	Vetolujuus ks	hajonta	-0.81
P-LAB/Pohja	Repäisy ps	KA	0.79
LEPO-LIIKE	Ero pinta	KA	-0.79
P-LAB/Pinta	Paksuus	hajonta	0.78
LÄMPÖKAMERA	Raita	Vyöh. alk.	0.78
Tapin ind/pohja	Neliömassa	KP/Y	-0.77
Tapin ind/pohja	Paksuus	KP/Y	-0.76
P-LAB -ero	Vetolujuus ks	KA	0.75
Tapio ind ero	Neliömassa	KP/X	-0.74
P-LAB -ero	Karheus ap	KA	0.73
P-LAB/Pinta	Karheus ap	KA	0.71
P-LAB -ero	Murto ps	KA	-0.70
Tapio/ero	Paksuus	Kok.haj.	0.70
Tapio ind ero	Paksuus	KP/Y	0.69
ACCURAY	K-arvot	g/m2 haj.	0.69
Tapin ind/pohja	Neliömassa	KP/X	0.68
Tapio/Pinta	Paksuus	PS-haj.	0.67
LEPOKITKA	Pohja	HP	0.65
LEPOKITKA	ER lepok.	HP	-0.63
P-LAB/Pinta	Murto ps	KA	-0.62
LEPO-LIIKE	ER pohj-pin	HP	0.62
Tapio/Pinta	Paksuus	Max-min	0.62
P-LAB -ero	Paksuus	KA	-0.62
P-LAB/Pohja	Bulkki	KA	0.61
LIIKEKITKA	Pohja	KP	0.61
Tapio ind ero	Paksuus	HP/Y	0.61
ACCURAY	R-arvot	Tuhka	0.60
P-LAB/Pohja	Neliömassa	hajonta	0.59
TAPIO/Pohja	Neliömassa	Max-min	0.59
ACCURAY	K-arvot	Kost.haj.	-0.58
Tapio ind/pinta	Paksuus	HP/Y	0.56
Tapio ind/pinta	Paksuus	HP/X	0.56
P-LAB/Pinta	Murto ks	hajonta	-0.56
LÄMPÖKAMERA	Jarrutus	5 cm	-0.56
Tapio ind ero	Paksuus	KP/X	0.56
TAPIO/Pohja	Paksuus	Kok.haj.	-0.55
Tapio/ero	Paksuus	Max-min	0.55
LEPOKITKA	Pohja	KA	0.54
P-LAB/Pinta	Neliömassa	hajonta	-0.54
Tapin ind/pohja	Paksuus	KP/X	-0.53
P-LAB -ero	Neliömassa	KA	-0.53
LEPOKITKA	Pohja	KP	0.51
3. & 4.puristin	Asetusarvot	Reunakevennys	0.51
LIIKEKITKA	ER liikek.	Keski	-0.50

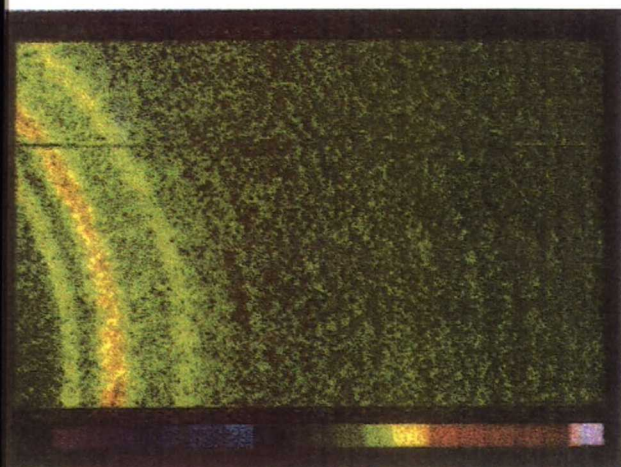
KORRELAATIOANALYYSIN TULOKSET; KOKONAISHYLKY

KORRELAATIO KOKONAISHYLYN SUHTEEN			Kok.hylky
HYLKY	Kok.hylky		1.00
HYLKY	SK-hylky		1.00
P-LAB/Pinta	Vetolujuus ks	hajonta	-0.96
LEPO-LIIKE	Ero pinta	Keski	-0.94
LEPOKITKA	Pinta	Keski	-0.92
TAPIO/Pohja	Paksuus	PS-haj.	-0.92
Tapio/ero	Paksuus	PS-haj.	0.92
Tapio ind ero	Neliömassa	HP/X	-0.91
LEPOKITKA	ER lepok.	KA	-0.90
Tapin ind/pohja	Neliömassa	HP/Y	-0.90
Tapio ind ero	Neliömassa	HP/Y	0.90
P-LAB -ero	Neliömassa	hajonta	-0.88
P-LAB -ero	Paksuus	hajonta	0.86
LEPOKITKA	Pinta	KA	-0.85
Tapin ind/pohja	Neliömassa	HP/X	0.84
LEPO-LIIKE	ER pohj-pin	KA	0.83
LEPO-LIIKE	Ero pinta	KA	-0.83
Tapio ind ero	Neliömassa	KP/Y	0.82
LEPOKITKA	ER lepok.	Keski	-0.82
P-LAB/Pohja	Vetolujuus ks	KA	-0.81
LEPO-LIIKE	ER pohj-pin	Keski	0.80
LÄMPÖKAMERA	Raita	Vyöh. alk.	0.80
Tapin ind/pohja	Paksuus	KP/Y	-0.79
P-LAB -ero	Vetolujuus ks	hajonta	-0.78
P-LAB -ero	Vetolujuus ks	KA	0.77
P-LAB/Pohja	Repäisy ps	KA	0.75
Tapio ind ero	Paksuus	KP/Y	0.75
P-LAB/Pinta	Paksuus	hajonta	0.75
Tapio ind ero	Neliömassa	KP/X	-0.74
P-LAB/Pinta	Karheus ap	KA	0.74
Tapin ind/pohja	Neliömassa	KP/Y	-0.73
Tapio/ero	Paksuus	Kok.haj.	0.73
P-LAB -ero	Karheus ap	KA	0.73
ACCURAY	K-arvot	g/m2 haj.	0.72
P-LAB -ero	Murto ps	KA	-0.72
Tapio/Pinta	Paksuus	PS-haj.	0.67
Tapio ind ero	Paksuus	HP/Y	0.65
LEPO-LIIKE	ER pohj-pin	HP	0.65
Tapio/Pinta	Paksuus	Max-min	0.65
Tapin ind/pohja	Neliömassa	KP/X	0.65
LEPOKITKA	Pohja	HP	0.64
LIIKEKITKA	Pohja	KP	0.62
ACCURAY	R-arvot	Tuhka	0.62
TAPIO/Pohja	Neliömassa	Max-min	0.62
P-LAB -ero	Paksuus	KA	-0.62
LEPOKITKA	ER lepok.	HP	-0.62
P-LAB/Pohja	Bulkki	KA	0.59
Tapio ind/pinta	Paksuus	HP/Y	0.58
Tapio/ero	Paksuus	Max-min	0.57
TAPIO/Pohja	Paksuus	Kok.haj.	-0.57
P-LAB/Pinta	Murto ps	KA	-0.57
Tapio ind ero	Paksuus	KP/X	0.57
P-LAB/Pohja	Neliömassa	hajonta	0.57
P-LAB -ero	Neliömassa	KA	-0.56
Tapio ind/pinta	Paksuus	HP/X	0.56
Tapin ind/pohja	Paksuus	KP/X	-0.56
LÄMPÖKAMERA	Jarrutus	5 cm	-0.54
P-LAB/Pinta	Neliömassa	hajonta	-0.54
Tapio/Pinta	Paksuus	Kok.haj.	0.53
P-LAB/Pinta	Murto ks	hajonta	-0.52
ACCURAY	K-arvot	Kost.haj.	-0.52
Tapio/ero	Neliömassa	KA	0.51
LEPOKITKA	Pohja	KA	0.51

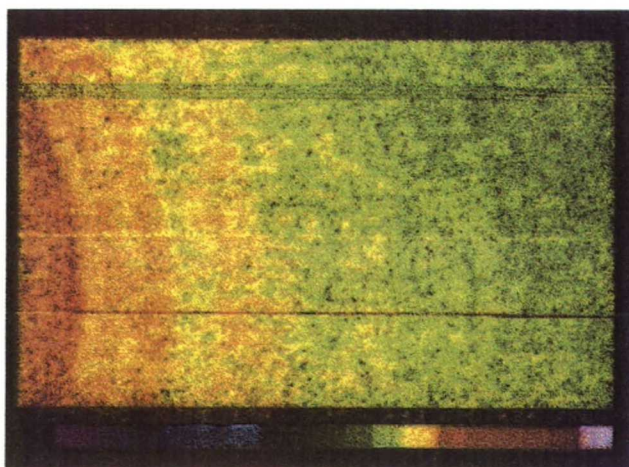
REUNAPURISTUSKOEAJO

Normaali ajotilanne

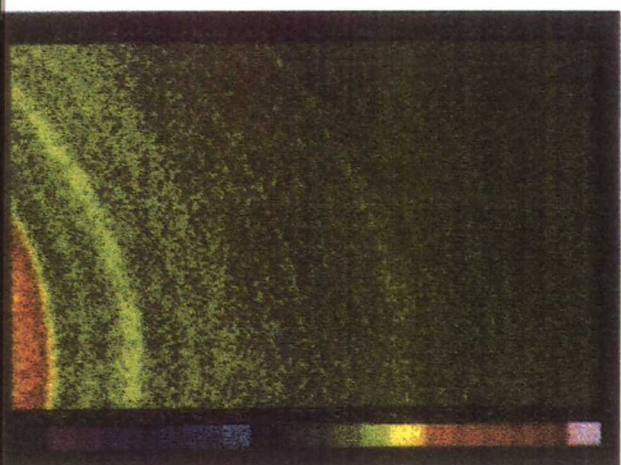
Lisätty reunapuristusta



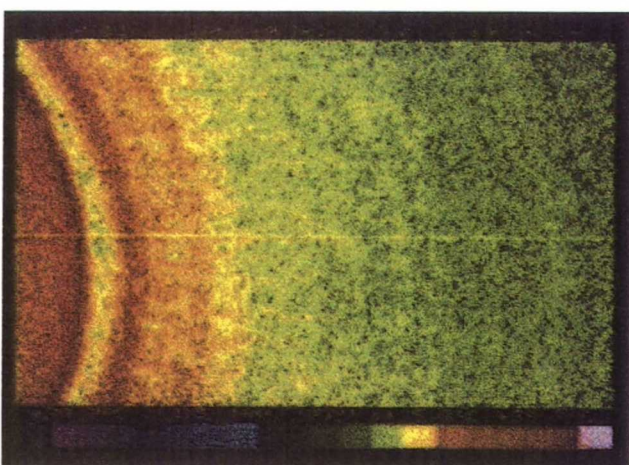
430 m



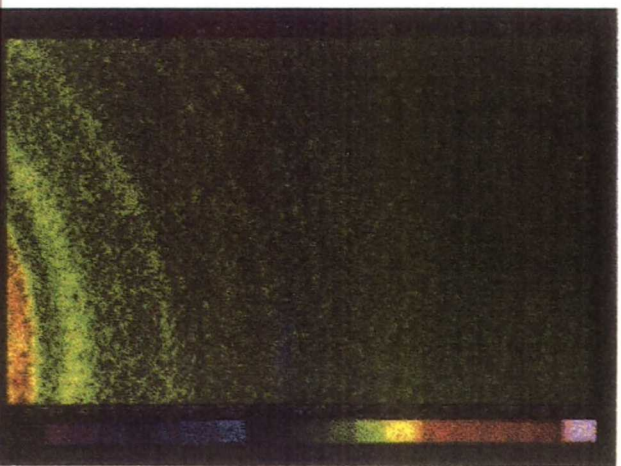
446 m



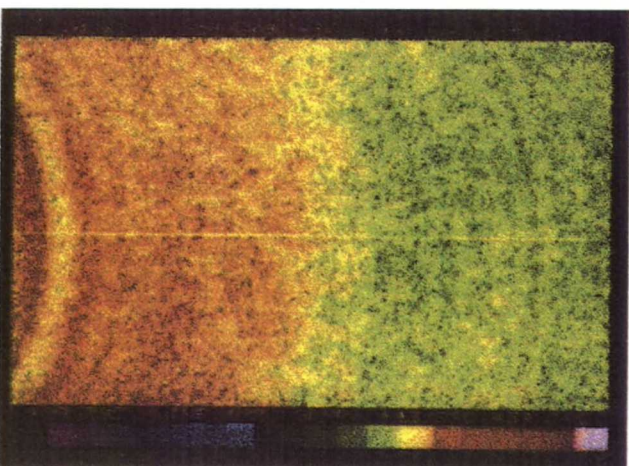
2521 m



419 m



670 m



620 m

VIIVAKUORMAMITTAUS

1. Tavoite

Konerullan rakenteen kannalta on rullaimen alkumetrien toiminnassa tärkeää, että pohja-alueen rullauksen aikana viivakuorma on suora. Mittauksen tarkoituksena oli selvittää alkurullauksen viivakuorman suoruus ja sen todenmukaisuus asetettuihin ohje-arvoihin verrattuna.

2. Menetelmät

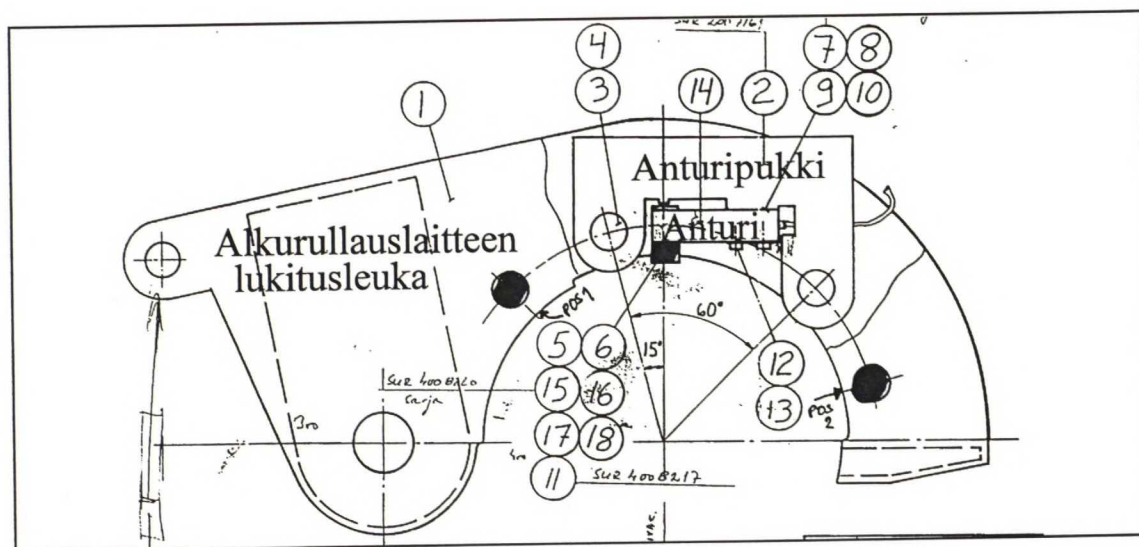
Rullaushipin viivapainemittaus suoritettiin ensimmäisessä vaiheessa mittausta varten teetetyillä alkurullauslaitteen lukitusleukoihin sekä hoitopuolen rullaushaarukkaan asennetuilla anturipukeilla. Antureina käytettiin viiden tuhannen kilon mitta-antureita, joiden signaalit vahvistettiin ja voimakäyrä piirrettiin muistipiirturilla. Toukokuun seisokissa koe toteutettiin rullaimen ollessa pysähdyksissä. Elokuussa rullainta ryömitettiin liikkeiden ajon aikana.

Toisessa vaiheessa käytettiin ns. Moogin ajolaitetta kuormitussylinterien testaamiseksi. Laitteella pakko-ohjattiin kuormitussylintereitä Moogin hydrauliventtiilin kautta.

3. Kokemukset ja tulokset

Toukokuun ja elokuun mittauksien tuloksien mukaan mitta-antureilla saatuja tuloksia verrattaessa laskennallisiin arvoihin, todettiin tulosten olleen n. 40-50 % "todellisista" arvoista. Lisäksi mittauksissa ei havaittu viivakuorman tasaista vaihtumista siirryttäessä alkurullauksen keskiökäyttörullaukseen. Saadut mittaukset dynaamisesta liikkeestä (ryömintä) olivat samansuuntaiset kuin pysähdyksissä olleelle rullaimelle saadut

kuormisarvot.



Kuva 1. Optireel-kiinnirullaimen alkurullauslaitteen lukitusleukoissa käytetyt kuormitusanturit viivakuormamittauksessa.

Mittaustuloksien virheen aiheuttanut syy löydettiin Järvenpään konepajalla toteutussa anturien kalibrointimittauksessa. Anturien valmistaja ilmoitti anturien maksimitaipumaksi 0.4 mm. Anturien asennus anturipukkeihin suunniteltiin ja toteutettiin siten, että anturi sai taipua vain kyseisen matkan. Todellisuudessa anturien kiinnityspultit antoivat periksi maksimikuormalla 0.6 mm, minkä takia 5 tonnin mitta-anturilla mitta-alue loppui anturin ja anturikehikon koskettaessa toisiaan noin 40-50 % kohdalla mitta-alueesta eli n. 2.2 tonnissa. Jos antureita olisi käytetty oikein anturin takaosan ja ylikuormituksen estämiseen tarkoitetun vastapinnan välin olisi pitänyt olla 1.0 mm. Valitettavasti tässä vaiheessa ei enää pystytty aikataulullisista syistä uusimaan ko. mittausta.

Kuormitusmittaustulosten epätodellisilta tuntuvien arvojen takia haluttiin diplomityötä varten saada jollakin menetelmällä selvitetys siitä, ettei alkurullauslaitteessa muodostunut toispuoleista viivakuormitusta. Tämä toteutettiin testaamalla kuormitus sylinterit Moogin ajolaitteen ja muistipiirturin avulla. Tuloksena saatiin sylinterin lepo- ja liikekitkojen

vaikutus sylinterin toimintaan ohjauspaineen funktiona. Menetelmän avulla ei pystytty tarkistamaan ohjausarvojen ja todellisten mitta-arvojen yhtäsuuruutta. Hydraulipaineet mitattiin alkurullauslaitteen ollessa käännettynä rullausasentoon (kiskoilla, lukitusleuat auki). Vastaavasti rullausvaunujen liikkeet ajettiin yksitellen sekä ilman tampusirautaa että sen kanssa.

Hydraulisylinterien kuormitus/liikemittauksien perusteella todettiin alkurullauslaitteen käyttöpuolen kuormitussylinterissä olleen 1.25 % (1 bar) korkeampi kuormituspaine ja n. 7 % korkeampi (3 bar) kevennyspaine kuin hoitopuolella. Lisäksi alkurullauslaitteen käyttöpuolen kuormitussylinteri vuoti. Tämä vaihdettiin uuteen seisokin aikana.

Rullausvaunujen kuormitusarvot olivat sekä ilman tampusirautaa että sen kanssa tasaisemmat (alle 1 bar tarkkuus).

4 Yhteenveto

Viivakuormamittauksien perusteella voitiin todeta rullaimen toimivan odotetulla tavalla (yhtäsuuret puristusvoimat molemminpuolin). Tuloksien perusteella ei päästy käsiksi ohje-arvojen todellisuuteen. Pohjahylky ei näiden mittausten perusteella johdu mekaanisesta toimintahäiriöistä.

TIHEYSMITTAUS

1. Tavoite

Tiheysmittaus on verrannollinen konerullan radiaalipuristukseen. Tiheysmittauksen avulla pyrittiin löytämään mahdollisia radiaalipuristuksen muutoksia ja selvittämään onko niillä vaikutusta pohjahylyn syntymiseen.

Tiheysmittauksen tavoitteena oli selvittää konerullan keskimääräisen tiheyden muutos rullaushalkaisijan tai -ajan funktiona sekä testata uutta laiteversiota.

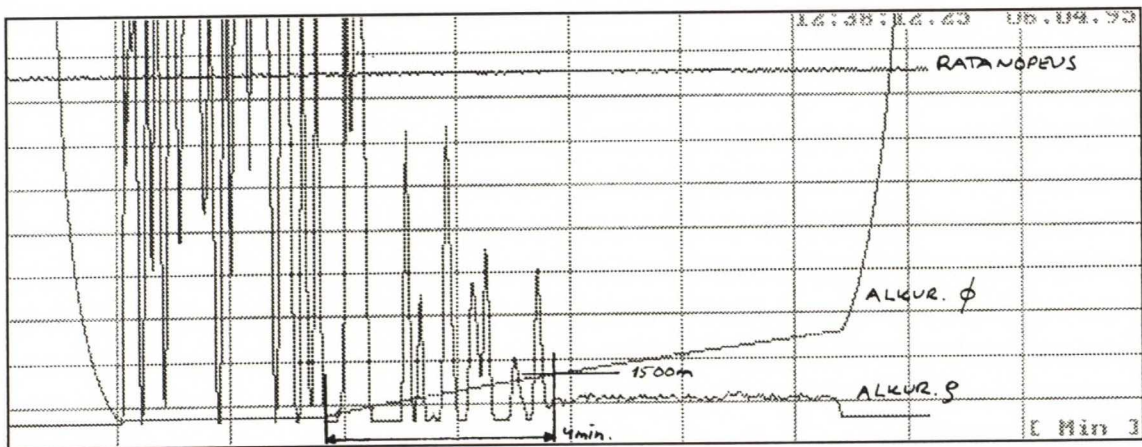
2. Menetelmät

Muodostuvan konerullan tiheysmittaukseen käytettiin uutta PC-pohjaista tietokoneohjelmaa, mikä laskee rullaussylinterin sekä tampuuriraudan pyörähtämisen funktiona paperirainan paksuuden jokaiselle kierrokselle. Vanha menetelmä perustui 100 paperikerroksen paksuuden vertaamiseen seuraavaan 100 kerrokseen. Mittausta varten saatiin referenssitelalta tietty määrä pulsseja. Vanhassa menetelmässä oli asennettuna useampi referenssimittapulssi (=optinen teippi) rullaussylinterin akselikaulalle. Uudessa menetelmässä niitä on vain yksi.

Mittapulssi (1/kierros) saatiin mitattavalta telalta eli tampuuritelalta. Mittapulssin paikkaa tai muutosta verrattiin referenssipulsseihin, jolloin voitiin laskea konerullan halkaisijan kasvu sekä laskea paperin paksuus ja tiheys. Näiden molempien liipaisuhetkien signaalit vahvistettiin ja tietoja verrattiin korkeataajuisen kellon toimintaan.

3. Kokemukset ja tulokset

Tiheysmittausten aikana kokeiltiin keskiömomentin vaikutusta konerullan tiheyteen. Koe suoritettiin nostamalla kiinnirullaimen keskiömomentin ohjauskäyrän tasoa askelittain 50 kN/m korkeammaksi normaalisti käytössä olleihin arvoihin verrattuna. Ratakiireyskäyrä pidettiin vakiona.



Kuva 1. SC-syvapainopaperikoneen kiinnirullaimella rullatun konerullan tiheys ajan suhteen.

Koeajon aikana mitattiin Optireelin alkurullauslaitteen rullaustiheyden käyttäytymistä rinnakkain vanhalla ja uudella mittausmenetelmällä. Mittaukset suoritettiin keskiömomentin korjaustermeillä 20, 45 ja 70 N/m.

Vanhan menetelmän mukaan 20 N/m keskiömomentin korjaustermin arvolla tiheysmittauksen taso oli selvästi laskeva (n.15-20 kg/m³ halkaisijoilla 1200-1800 mm). 1500 mm kohdalla havaittiin tiheystasossa pieni alenema. Vika poistui keskiömomentin kasvun funktiona.

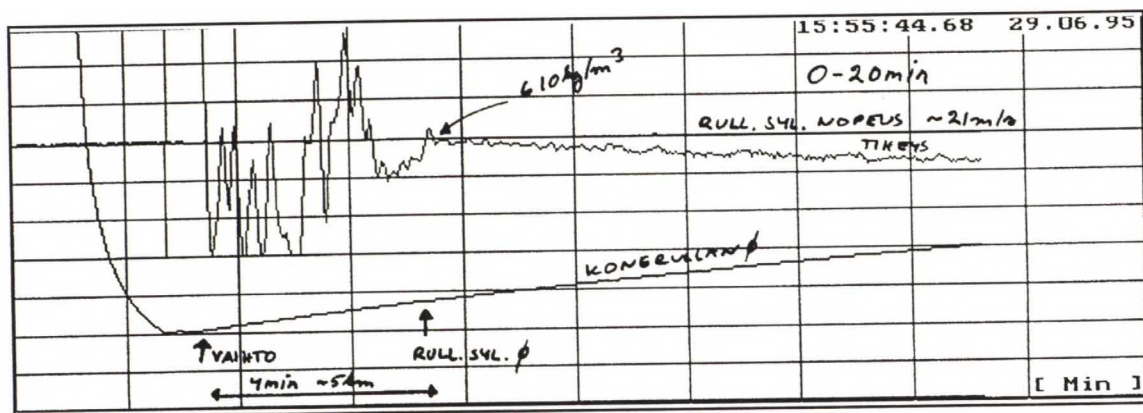
Uudessa menetelmässä voitiin joka mittauksessa huomata tiheysmittauksen rauhoittuminen 1500 mm halkaisijan jälkeen, mikä samalla oli rullaussylinterin halkaisija.

Mittauksien perusteella voitiin tehdä seuraavanlaiset olettamukset:

1. Mittatarkkuus oli parantunut, jonka takia voitiin mitata jopa erittäin pieniä jo rullattujen paperikerrosten liikkeitä.
2. Laitteessa oli jokin matemaattinen virhe, minkä takia se aiheutti virheitä mittaukseen konerullan halkaisijan ollessa alle rullaussylinterin halkaisijan.

Em. mittauksen perusteella päätettiin varmistaa laitteen toiminta mittaamalla tavallinen Pope-rullain. Mittauskohteeksi valittiin saman tehtaan toinen SC-paperikone.

Uuden mittauskohteen rullaushylyn ongelma-alueet selvitettiin ennen kokeen aloittamista. Käyttöhenkilökunnan mukaan ongelmallinen pohja-alue ulottui noin 5000 metriin asti. Lisäksi Pope-rullaimella rullatuista konerullista löytyy katkoherkkä alue n. 35-38 kilometrin kohdilta riippuen paperilajista.



Kuva 2. Pope-rullaimella rullatun konerullan tiheys ajan suhteen.

Mittauksien perusteella rullaustiheyskäyrä oli muodoltaan sopivan laskeva eli optimaalinen pohja-aluetta sekä vaihdosta n. 29-31 minuutin kohdalla ilmaantunutta tiheyden heilahdusta lukuunottamatta.

Tiheysmittauksen piirron havaittiin rauhoittuvan järjestelmällisesti konerullan saavutettua rullaussylinterin halkaisija. Lisäksi konerullan rullaustiheys pieneni hetkellisesti rullaussylinterin halkaisijan toisen harmoonisen kertaluvun kohdalla. Toisaalta nämä kohdat olivat hyvin lähellä viivapaineen sylinterien paineiden rampituksen alku- ja loppuhetkeä.

Voimakkuudeltaan pohja-alueen tiheysmuutokset olivat +/- 60 kg/m³ keskiarvostaan. Visuaalisesti arvioituna alkurullauksen ensimmäisen 2 minuutin (0-2500 metriä) aikana konerullanpohjasta tuli selvästi löysempi. Tämän jälkeen alkurullauksessa on nähtävissä tiheyden kasvu ja lopulta tiheyden muutoksen rauhoittuminen rullaussylinterin halkaisijan saavuttamisen jälkeen.

Sekä konemiehistön kokemukseen perustuen että mittauksen avulla voitiin olettaa, että konerullan tiheydessä oli selviä tiheysvaihteluja sekä alle 1100 mm halkaisijoilla että n. 2200 mm halkaisijalla. Nämä mitat olivat rullaussylinterin halkaisija sekä sen toinen harmooninen kertaluku. Tiheysvaihteluiden kohdalle sijoittuu myös viivapaineen säädön rampin alku- ja loppukohdat.

Toisen SC-paperikoneen kiinnirullauksen pohja-alueen muutokset olivat selvästi pienempiä kuin tutkimuksen kohteena olleella paperikoneella, missä vastaavasti ei löydetty myöhemmässä rullauksen vaiheessa minkäänlaista tiheyden muutosta.

Pope-rullaimen mittauksessa tuli todennettua uuden tiheysmittauslaitteen avulla samanlainen ilmiö kuin syväpainopaperia valmistavan paperikoneen Optireelissä. Tiheysvaihtelut muodostuivat samoihin rullauksen kohtiin kuin kokemuseräisesti on

pystytty havainnoimaan rullaushylyn syntykohdat. Tiheysvaihteluiden merkitystä eikä sen muodostumismekanismia voitu näiden mittauksien avulla selvittää.

Tiheysmittauksen kehittäminen jäi työn osalta näihin koeajoihin. Tulevaisuudessa tulisi laitetta kokeilla pilot-mitassa, jolloin tahallisesti aiheutetaan rullaustiheyteen erilaisia häiriöitä, jotta voidaan tutkia mittauksen kykyä havaita muutoksia. Lisäksi ohjelman laskentaohjelmasta löydettiin virhe, joka selittää osittain referenssiä pienemmillä halkaisijoilla tapahtuvat mittavirheet. Kun laite saadaan korjattuna näiden kohtien osalta, niin sen käyttö rullaustutkimuksessa saattaa olla hyvin potentiaalista.

4 Yhteenveto

Tiheysmittauksista ei löydetty pohjahylkyyn indikoivaa tekijää kyseisellä SC-syväpainopaperikoneen kiinnirullaimella.

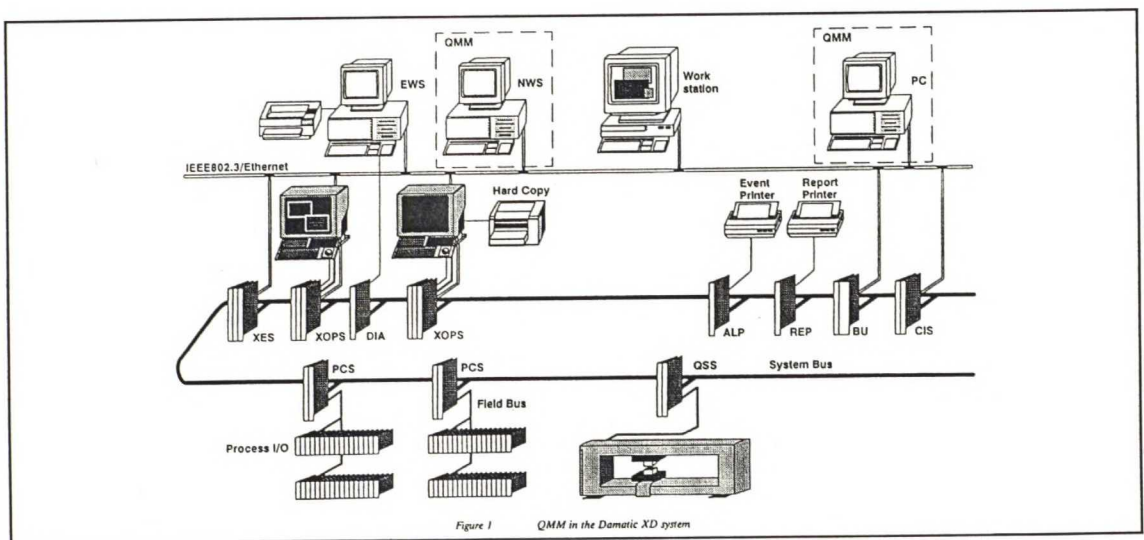
QMM-TIEDONKERUUMENETELMÄ

1 Tavoite

Tiedonkeruun tarkoituksena oli selvittää rullaimen sekvenssin toiminnan säännöllisyys konerullan pohja-alueella selä mitä pohja-alueen rullauksen aikana tapahtuu rullaimella.

2 Menetelmät

QMM- (Quality Measurement Monitor) tiedonkeruuohjelma on Valmet Automation Oy:n kehittämä tiedonkeruumenetelmä Damatic-ohjausjärjestelmäympäristöön. Ohjelmistoon määritetään tietyt halutut muuttujat ja sekä niiden perusteella toiminta joka laukaisee keräyksen, johon tulee tietyistä toisista muuttujista sen hetkiset tiedot. Tiedonkeruutietokone liitettiin tehdasjärjestelmän tietoverkkoon paperikoneen CIS-aseman tilalle (kuva 1). Ennalta määritellyn keräysmääritteen mukaan kerättiin rullaimen mekaanisten toimintamuutoksien aikana



Kuva 1. QMM liitettynä Damatic XD- ympäristöön.

vallitsevan rullaustilan tiedot: ratanopeus, paperiradan pituus konerullassa, konerullan halkaisija sekä onko rullain automaattiohjauksella. Mekaanisten osien rajakytkimien runsaus asetti ohjelmallisesti toimintarajoituksia QMM:lle. Ohjelma pystyi keräämään vain 50:n muuttujan tiedot samanaikaisesti. Ohjelman yhteen tietueeseen mahtui 20 muuttujaa, joten keruuta varten jouduttiin rakentamaan 3 alikeruuohjelmaa. Rullaimella oli Damaticin ohjausjärjestelmän mukaan yli 50 rajakytkintä. Näistä valittiin 47 seurantaa varten.

3 Kokemukset ja tulokset

Diplomityön kannalta oli tärkeää selvittää rullaimen mekaaninen toiminta ja arvioida sen hyvyys ennen kuin siirryttiin selvittämään rullattavan materiaalin ominaisuuksia sekä sen käyttäytymistä rullaimella. Lisäksi tuloksien perusteella muodostettiin kuvaaja toiminnoista pohjahylkymetrien funktiona.

Tiedonkeruu suoritettiin kahden vuorokauden aikana. Tuotannossa oli aluksi SCd-paperilaji, minkä jälkeen siirryttiin SCa-paperilajiin.

Kiinnirullaimen rajakytkimen tiedon muutos laukaisi keruun. Tietokoneen ohjelman tietueen keruuriville saatiin:

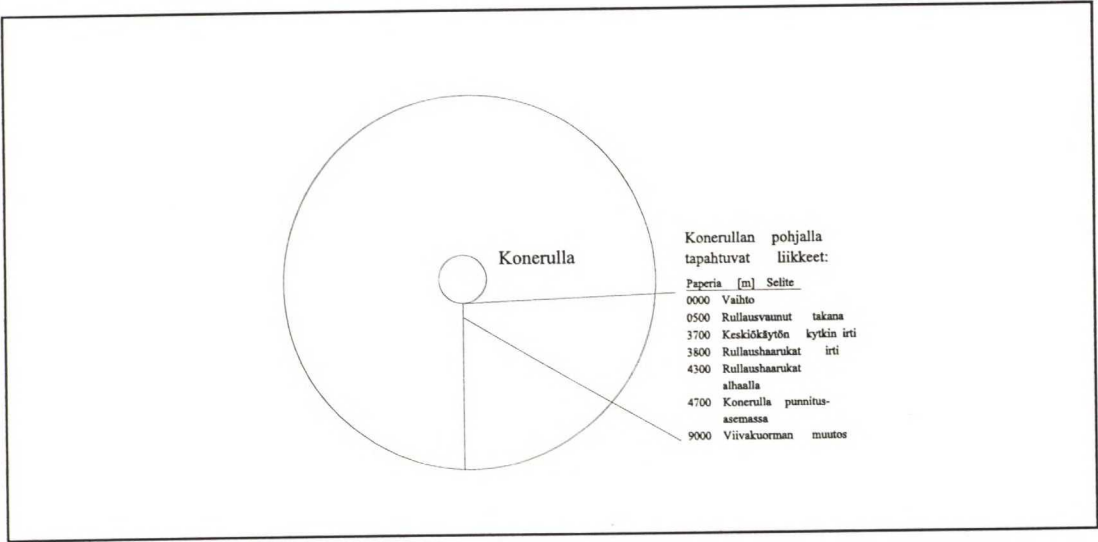
1. Tiedonkeruujärjestelmän kellonaika ja päivämäärä
2. Rajakytkintieto (identifiointinumero)
3. Pois/päällä-tieto (onko automaatio- vai käsiohjauksella)
4. Konerullan halkaisija millimetreissä
5. Konerullan ratapituus kilometreissä
6. Rullaimen ohjauksen tila (automaatti/manuaali)

Konerullan ratapituus- ja halkaisijatietojen perusteella pyrittiin laskemaan paperin paksuudelle sekä paperin rullaustiheydelle arvot. Keskimääräinen mitattu paperin paksuus oli n. 80 mikrometriä konerullassa. Laboratoriomittausten vastaava arvo oli n. 88 mikrometriä eli raakapaperin z-suuntainen kokoonpuristuvuus oli suuruudeltaan n. 8-10 %

rullauksen aikana. Konerullan tiheydet olivat 50 kg/m³ alhaisempia kuin liitteessä 8 mitattujen konerullien tiheysmittauksien tulokset.

Rajakytkintietoja tutkimalla voitiin havaita tietyissä ei-kriittisissä liikkeissä epäsäännöllisyyksiä. Muuten liikkeet tapahtuvat lähes symmetrisesti. 1-2 sekunnin virheet tuloksissa johtuvat joko tiedonkeruuohjelman tarkkuudesta (1 sekunti) tai tietoväylien kuormituksista.

Tulosten perusteella muodostettiin kaavio pohjahylkyalueella tapahtuvista rullaimen toiminnoista.



Kuva 2. Paperikoneen Optireel-kiinnirullauksen alkumetreillä tapahtuvat muutokset ko. SC-syväpainopaperia valmistavalla paperikoneella.

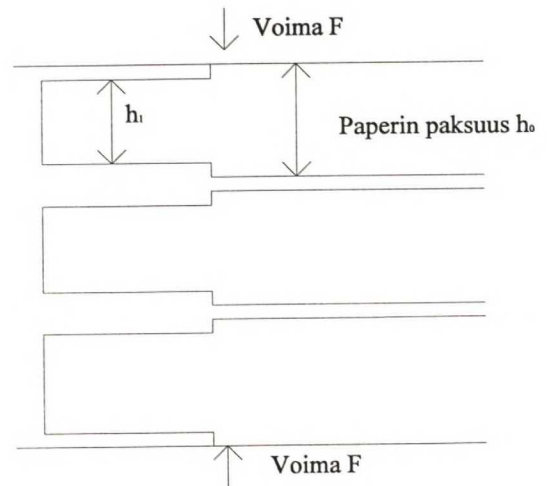
4 Yhteenveto

Kiinnirullaimen toiminnasta rajakytkintietojen perusteella voitiin todeta, että rullain toimi kriittisimmiltä toiminnoiltaan moitteettomasti ja säännöllisesti. Lisäksi saadun pohja-alueen toimintamallista ei löydetty mitään selvää indikaatiota epäjatkuvuuteen. Pohjahylky ei tämän selvityksen perusteella muodostu mekaanisista toimintahäiriöistä.

RADIAALIPAIINEEN LASKENTA

Radiaalipaine lasketaan tässä "karkeassa" tapauksessa seuraavia yksinkertaistuksia tehden:

1. Kimmokerroin on lineaarinen
2. Tutkitaan äärettömän ohutta konerullan poikkisuuntaista sektoria
3. Ei huomioida paperikerrosten keskenäistä tukemista.



Kun paperipinoa puristetaan voimalla F , niin h_0 ja h_1 käyttäytyvät seuraavanlaisesti:

$$nh_0 - nh_0\epsilon_0 = nh_1 - nh_1\epsilon_1 \quad (1)$$

missä n paperiarkkien lukumäärä

h_0 paksuuden keskiarvo rainassa

h_1 reunan paksuus

ϵ_0 kokoonpuristuvuus paksuuden keskiarvolla

ϵ_1 kokoonpuristuvuus reuna-alueella

Kaavan yksi perusteella voidaan lausua ϵ_1 muiden tekijöiden funktiona.

$$h_0(1 - \epsilon_0) = h_1(1 - \epsilon_1) \quad (2)$$

$$\Rightarrow \epsilon_1 = (-h_0/h_1) * (1 - \epsilon_0) + 1 \quad (3)$$

$$= (-h_0/(h_0+\Delta h))^*(1-\epsilon_0) + 1 \quad (4)$$

missä Δh = paksuuden muutos puristuksen aikana

$$= (-h_0/(h_0+\Delta h)) - (-h_0/(h_0+\Delta h))^*\epsilon_0 + 1 \quad (5)$$

$$= -1 + \Delta h/h_0 - (-h_0/(h_0+\Delta h))^*\epsilon_0 + 1 \quad (6)$$

$$= \Delta h/h_0 - (-h_0/(h_0+\Delta h))^*\epsilon_0 \quad (7)$$

$$= \Delta h/h_0 - (1 - \Delta h/h_0)^*\epsilon_0 \quad (8)$$

$$\epsilon_1 = \epsilon_0 + \Delta h/h_0 - (\Delta h/h_0)^*\epsilon_0 \quad (9)$$

Jos esimerkiksi paperin paksuus on 100 mikrometriä ja profiilivika on 3 mikrometriä.

$$\Delta h = -3 \text{ mikrometriä}$$

$$h_0 = 100 \text{ mikrometriä}$$

$$\epsilon_1 = \epsilon_0 + \Delta h/h_0 - (\Delta h/h_0)^*\epsilon_0$$

$$= \epsilon_0 + -3/100 - 3/100^*\epsilon_0$$

$$= 1.03 * \epsilon_0 - 0.03$$

=> Kolmen mikrometrin muutos aiheuttaa sen, että kokoonpuristuvuus ϵ_1 on noin 3 % pienempi kuin ϵ_0 .

PFEIFFERIN KAAVA RADIAALIPURISTUKSELLE

Pfeiffer on esittänyt, että kaava (10) pätee kokeellisesti määrättyjen vakioiden avulla paperinpinon kokoonpuristuvuudelle.

$$P = K_1 (e^{K_2 \epsilon} - 1) \quad (10)$$

SC -paperille kaavan 10 keskimääräiset kertoimet ovat:

$$K_1 = 0.049 \text{ N/mm}^2 = 50 \text{ kPa}$$
$$K_2 = 40$$
$$P = n. 300 \text{ kPa}$$

Näiden arvojen avulla voidaan laskea kaavan 11 mukaan radiaalipaine puristuvuuden funktiona (kts. kuva 1, liite 10).

$$\epsilon_0 = \ln(P/K_1 + 1)/K_2 \quad (11)$$

YHTEENVETO

Tämän hyvin karkean mallin mukaan jo muutaman mikrometrin paksuuden muutokset lineaarisella kimmokertoimella laskettaessa aiheuttaa esim. Δh ollessa -3 mikrometriä radiaalipaineen pienentymisen kuudennesosaan. Todellisuudessa radiaalipaineen pienentyminen ei ole näin suuri paperikerrosten keskinäisen tuennan takia.

KOKOONPURISTUVUUSLASKELMAT

PURISTETUN PAPERIPINON PAKSUUDEN MUUTOS
[ideaalitiheys]

Keskikohdan paksuus	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
Reunan paksuus	99	98.5	98	97.5	97	96.5	96	95.5	95	94.5	94
Erotus	-1	-0.5	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
Paksuuden muutos [%]	-1.010	-0.508	0.000	0.513	1.031	1.554	2.083	2.618	3.158	3.704	4.255

ϵ (reuna) = lin. kok.pur.* ϵ (keskiosa)+ vakio.											
Keskiosan kok.pur. 300 kPa [%]	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049	0.049
Lineaarinen kokoonpuristuvuus:	0.990	0.995	1.000	1.005	1.010	1.016	1.021	1.026	1.032	1.037	1.043
Vakio	-0.010	-0.005	0.000	0.005	0.010	0.016	0.021	0.026	0.032	0.037	0.043
Paksuuden kokoonpuristuvuus [%]	5.821	5.343	4.860	4.372	3.879	3.381	2.878	2.369	1.856	1.336	0.811

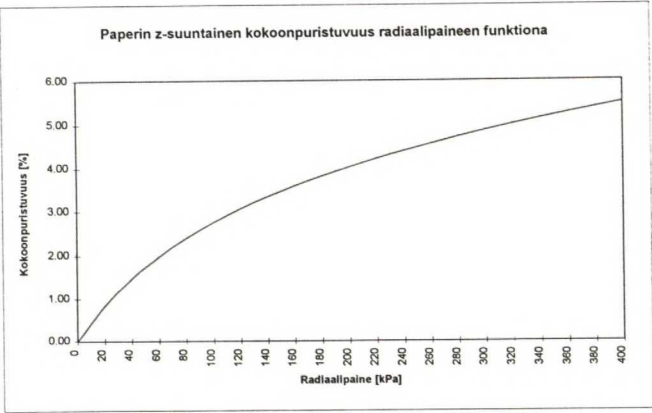
PFEIFFERIN MUKAINEN RADIAALIPURISTUS

Oletus: paine = $K1 \cdot (e^{\epsilon \cdot (K2^2)} - 1)$
Kokoonpuristuvuuden 0.5 N/mm2 SC-paperille mitattuja arvoja.
K1-termi 50 kPa
K2-termi 40

Puristusaine:		K1-termi		K2-termi		Kokoonpuristuvuus		Reunan muutos ideaalitalanteesta	
[kPa]		[kPa]				[%] ϵ	kPa	[mikrometri]	
0		50		40		0.00	0		
20		50		40		0.84	20	4	
35		50		40		1.33	20	3.5	
40		50		40		1.47	40		
55	50	40		40		1.85	55	3	
60		50		40		1.97	60		
80		50		40		2.39	80	2.5	
100		50		40		2.75	100	2	
120		50		40		3.06	120		
130		50		40		3.20	130		
140		50		40		3.34	140	1.5	
160		50		40		3.59	160		
180		50		40		3.82	180	1	
200		50		40		4.02	200		
220		50		40		4.22	220		
240		50		40		4.39	240	0.5	
260		50		40		4.56	260		
280		50		40		4.72	280		
300	50	40		40		4.86	300	0	
320		50		40		5.00	320		
340		50		40		5.14	340		
360		50		40		5.26	360		
380		50		40		5.38	380	-0.5	
400		50		40		5.49	400		
420		50		40		5.60	420		
440		50		40		5.71	440		
460		50		40		5.81	460	-1	
480		50		40		5.90	480		
500		50		40		5.99	500		

PAPERIN Z-SUUNTAINEN KOKOONPURISTUVUUS RADIAALIPAIINEEN FUNKTIONA

Rad.paine	Kokoonpuristuvuus
kPa	[%]
0	0.00
20	0.84
40	1.47
60	1.97
80	2.39
100	2.75
120	3.06
140	3.34
160	3.59
180	3.82
200	4.02
220	4.22
240	4.39
260	4.56
280	4.72
300	4.86
320	5.00
340	5.14
360	5.26
380	5.38
400	5.49



LUKUSÄHKÖ

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Puunjalostustekniikan laitos
Kirjasto